

RAPPORT ANNUEL
À
INDUSTRIE CANADA

INSTITUT D'INFORMATIQUE QUANTIQUE

Du 1^{er} mai 2010 au 30 avril 2011

UNIVERSITY OF
WATERLOO

IQC Institute for
Quantum
Computing

Table des matières

1. Introduction

- 1.1 Survol de l'IIQ : l'avenir réinventé
- 1.2 Principes directeurs de l'IIQ
- 1.3 Sommaire
- 1.4 Budget et états financiers – Industrie Canada (000 \$)

2. Faits saillants scientifiques

- 2.1 Faits saillants de la recherche
- 2.2 Nouveaux membres du corps enseignants et professeurs adjoints à la recherche
- 2.3 Colloques et ateliers

3. Résultats

- 3.1 Positionner Waterloo comme un centre de recherche de calibre mondial dans les technologies quantiques et leurs applications
 - 3.1.1 Poursuite de travaux de recherche en information quantique
 - 3.1.2 Recrutement de chercheurs
 - 3.1.3 Collaboration avec d'autres chercheurs
 - 3.1.4 Gestion de l'édifice, des installations et du laboratoire
- 3.2 Devenir un pôle d'attraction pour le personnel hautement qualifié dans le domaine de l'information quantique
 - 3.2.1 Attraction, perfectionnement et formation de personnel hautement qualifié
- 3.3 Établir l'IIQ en tant que source de renseignements, d'analyses et de commentaires faisant autorité en matière d'information quantique
 - 3.1.1 Diffusion des connaissances
 - 3.3.2 Stratégie de communication et de diffusion
- 3.4 Soutien administratif

4. Objectifs 2012

- 4.1 Recherche en information quantique
- 4.2 Recrutement de chercheurs

4.3 Collaboration avec d'autres chercheurs

4.4 Immeuble, installations et soutien de laboratoire

4.5 Attraction, perfectionnement et formation de personnel hautement qualifié

4.6 Diffusion des connaissances

4.7 Stratégie de communication et de rayonnement

4.8 Soutien administratif

5. Stratégies d'évaluation et d'atténuation des risques

1. INTRODUCTION

1.1 SURVOL DE L'IIQ : L'AVENIR RÉINVENTÉ

L'Institut d'informatique quantique (IIQ) a été créé officiellement en 2002, sous l'impulsion de Mike Lazaridis et de David Johnston, alors président de l'Université de Waterloo. Ces derniers souhaitent encourager la recherche de pointe en information quantique, la prochaine révolution technologique. La maîtrise des lois quantiques de la nature laisse en effet entrevoir de formidables percées dans des domaines allant de l'informatique aux communications en passant par les capteurs – et l'IIQ a été créé expressément dans le but de concrétiser cette vision.

Tout au long de l'histoire, les humains ont appris à dompter et à contrôler les forces de la nature – par exemple le feu, la vapeur, l'électromagnétisme – afin de vivre mieux. L'IIQ s'emploie désormais à maîtriser la force originelle de la nature – le tissu quantique qui sous-tend toute chose. Nous commençons à peine à imaginer comment les fruits de cette recherche façonneront notre avenir.

Fort de la solide expertise de l'Université de Waterloo en ingénierie, en mathématiques et en sciences informatiques, l'IIQ n'a pas tardé à attirer des chercheurs en informatique de calibre international; ces derniers ont en quelque sorte formé un noyau d'excellence auquel se sont ensuite rattachés des expérimentateurs. Aujourd'hui, l'IIQ constitue un partenariat très fructueux entre l'Université de Waterloo, le secteur privé et les gouvernements tant fédéral que provincial. David Johnston rêvait de voir Waterloo devenir la « Quantum Valley » aux yeux du monde entier, et l'IIQ est en voie de transformer ce rêve en réalité.

« La curiosité innée de l'être humain a toujours été le moteur de l'innovation. »

Raymond Laflamme
Directeur général, Institut d'informatique quantique

En 10 ans à peine, l'IIQ est devenu le plus grand centre de recherche au monde consacré à la science et à la technologie de l'information quantique. Il a mis sur pied un programme de formation sans pareil pour des étudiants et des stagiaires postdoctoraux des quatre coins du monde. Il renforce actuellement ses programmes de communication et de diffusion afin de partager les connaissances acquises et de susciter la fascination du plus grand nombre à l'égard de la science quantique. Le Canada et l'IIQ sont de plus en plus reconnus comme les chefs de peloton dans la grande course quantique à l'échelle mondiale.

Un des événements marquants de la prochaine année sera le déménagement dans de nouvelles installations tout à fait extraordinaires, le Mike & Ophelia Lazaridis Quantum-Nano Centre. Dans un immeuble qui sera le plus vaste du campus, des chercheurs étudieront et manipuleront les plus minuscules éléments constitutifs de la nature. Ce

« laboratoire d'idées », au sens propre, comprendra une salle blanche ultramoderne, l'infrastructure expérimentale la plus avant-gardiste au monde et des espaces novateurs conçus pour favoriser la collaboration et le dialogue entre les chercheurs. La recette est simple : attirer les meilleurs cerveaux dans le domaine et leur fournir le meilleur environnement de recherche possible en même temps qu'un endroit où échanger et mettre à l'essai leurs idées, pour ainsi permettre l'éclosion de percées scientifiques.

1.2 PRINCIPES DIRECTEURS DE L'IIQ

Vision

La maîtrise de la mécanique quantique donnera lieu à des technologies transformationnelles qui profiteront à toute la société et deviendront un nouveau moteur du développement économique au 21^e siècle.

Mission

Développer et faire avancer la science et la technologie de l'information quantique au plus haut niveau à l'échelle internationale par la collaboration entre informaticiens, ingénieurs, mathématiciens et physiciens.

Objectifs stratégiques

1. Positionner Waterloo comme un centre de recherche de calibre mondial dans les technologies quantiques et leurs applications
 1. Poursuite de travaux de recherche en information quantique
 2. Recrutement de chercheurs chevronnés
 3. Collaboration avec d'autres chercheurs
 4. Gestion de l'édifice, des installations et du laboratoire

2. Devenir un pôle d'attraction pour les étudiants et les stagiaires postdoctoraux dans le domaine de l'information quantique
 5. Attraction, perfectionnement et formation de personnel hautement qualifié

3. Établir l'IIQ en tant que source de renseignements, d'analyses et de commentaires faisant autorité en matière d'information quantique
 6. Diffusion des connaissances
 7. Développement et communication de l'image de marque de l'IIQ

8. Le soutien administratif est lié à chacun des trois objectifs stratégiques.

Les objectifs stratégiques, fragmentés en huit tactiques élaborées en partenariat avec Industrie Canada, constituent la feuille de route sur laquelle seront fondées toutes les activités de l'IIQ; c'est également autour de ces objectifs que s'articule le présent rapport.

1.3 SOMMAIRE

Ce rapport annuel est le second d'une série de cinq rapports qui évalueront les activités et les résultats de l'IIQ en lien avec la subvention de 50 millions de dollars qui lui a été accordée par Industrie Canada. À moins d'indication contraire, la période visée s'échelonne du 1^{er} mai 2010 au 30 avril 2011 (soit l'exercice financier 2011).

Le rapport a pour but de montrer comment les fonds versés par Industrie Canada ont permis à l'IIQ de prendre de l'expansion et de réaliser des progrès significatifs dans l'atteinte de ses trois objectifs stratégiques, lesquels sont étroitement liés aux retombées à long terme qui correspondent à la vision de l'IIQ et qui ont été formulées en collaboration avec Industrie Canada :

1. Enrichissement des connaissances en information quantique
2. Occasions nouvelles pour les étudiants d'acquérir et de mettre en application de nouvelles connaissances
3. Reconnaissance du Canada comme lieu où mener des travaux de recherche sur les technologies quantiques
4. Bon positionnement du Canada pour tirer parti des avantages économiques et sociaux de la recherche

L'appui du Canada à la recherche quantique renforce le leadership scientifique et technologique du pays; cet investissement visionnaire est d'une importance capitale, car nous commençons tout juste à explorer l'univers des quantas.

Le rapport présente un aperçu des réalisations scientifiques, la liste des objectifs fixés pour l'exercice financier 2011, un sommaire des activités entreprises au moyen de la subvention, les résultats obtenus, les objectifs et résultats attendus pour l'exercice financier 2012, les activités et calendriers spécifiques, ainsi qu'une évaluation des risques et des stratégies d'atténuation des risques. Des explications additionnelles et des documents de référence sont présentés en annexe.

En bref, l'IIQ a atteint ou dépassé toutes ses cibles de croissance et de développement, et est bien positionné pour atteindre les objectifs de la prochaine année : un rendement positif de l'investissement. Les preuves scientifiques sont là : l'IIQ continue d'attirer les chercheurs du plus haut calibre au monde. Ces experts, qui ont fait cette année d'importantes découvertes, ne cessent d'enrichir les connaissances et de lever le voile sur les possibilités infinies qui nous attendent au fur et à mesure que nous réussissons à apprivoiser l'univers quantique.

Le court sommaire ci-dessous, qui présente les nombreux points saillants de l'année en regard des trois objectifs stratégiques, est révélateur des immenses progrès réalisés quotidiennement à l'IIQ; le lecteur trouvera de plus amples renseignements plus loin dans le rapport et les annexes :

1. Positionner Waterloo comme un centre de recherche de calibre mondial dans les technologies quantiques et leurs applications :

L'IIQ a poursuivi ses efforts afin de réunir une équipe de chercheurs – théoriciens et expérimentateurs – qui sont des leaders en informatique, en génie, en mathématiques, en chimie et en physique. Le professeur David Cory, trois professeurs adjoints à la recherche et 18 stagiaires postdoctoraux se sont joints à l'IIQ en 2011.

Pour soutenir cette équipe de haut niveau, l'IIQ continue d'investir dans l'infrastructure expérimentale et en récolte maintenant les bénéfices – le développement de dispositifs quantiques, la mise en place de protocoles quantiques ainsi que l'évolution de la communication quantique par satellites à la suite de l'étude de faisabilité. Parallèlement, l'IIQ entretient d'excellentes relations avec des chercheurs en informatique quantique qui conçoivent de nouveaux protocoles et applications pour les processeurs quantiques, ce qui contribue à approfondir notre compréhension du traitement de l'information quantique.

Les chercheurs de l'IIQ ont obtenu des résultats substantiels et réalisé des percées notables – en matière de photonique, de correction des erreurs quantiques et de qubits supraconducteurs, entre autres – qui ont fait l'objet d'articles dans des publications aussi prestigieuses que Science, Nature, Nature Physics, Nature Photoniques et Physical Review Letters. Au total, ils ont publié 160 articles cette année.

La nature de la recherche à l'Institut nécessite et encourage les projets de recherche stratégiques conjoints avec des scientifiques de premier plan dans différents domaines, à l'intérieur et à l'extérieur de l'IIQ. En 2010, les chercheurs ont publié des articles en collaboration avec 166 collègues provenant de 96 instituts situés un peu partout dans le monde. Le nombre de publications cosignées avait été de 141 en 2009.

Le nouveau Mike & Ophelia Lazaridis Quantum-Nano Centre, une installation à la fine pointe, offrira des conditions idéales qui sauront attirer les meilleurs scientifiques au monde en mettant de l'avant la recherche interdisciplinaire. La construction du centre devrait prendre fin en juillet 2011. La mise en service sera complexe et s'étendra jusqu'à l'automne 2011; la relocalisation des gens et des laboratoires dans le nouvel édifice devrait débiter en janvier 2012.

En 2012, la recherche consistera principalement à poursuivre l'étude approfondie des approches théoriques de traitement de l'information quantique afin de mieux comprendre l'impact de la mécanique des quanta pour le traitement de l'information et d'étudier de nouvelles applications potentielles. Les chercheurs de l'IIQ continueront à élaborer des façons d'appréhender l'information quantique à l'aide de la photonique, des spins nucléaires et électroniques, des points quantiques et des technologies de supraconduction, et passeront à l'étude des conditions requises pour la conception de systèmes de cryptographie quantique terre-satellite.

2. Devenir un pôle d'attraction pour les étudiants et les stagiaires postdoctoraux dans le domaine de l'information quantique :

Bien que l'IIQ possède une masse critique de chercheurs spécialisés en information quantique, il est essentiel pour la suite des choses que l'Institut recrute et forme la prochaine génération de leaders dans le domaine.

L'an dernier, en partenariat avec les facultés de mathématiques, de sciences et de génie de l'Université de Waterloo, l'IIQ a mis sur pied un programme multidisciplinaire d'études supérieures en information quantique. L'Institut a reçu 117 demandes pour 20 places disponibles dans le programme coopératif en information quantique; de plus, 78 étudiants de l'UW ont manifesté un intérêt pour l'informatique quantique au moment de faire des demandes dans d'autres programmes d'études supérieures.

Si on tient compte de tous les programmes de l'IIQ, on observe une augmentation du nombre de demandes, qui est passé de 104 demandes en 2010 à 195 en 2011.

Afin d'attirer la crème de la crème, l'IIQ a participé à des salons étudiants à l'Université de Waterloo, à l'Université McGill, à l'Université de l'Alberta, à l'Université de Western Ontario, à l'Université de la Colombie-Britannique, à la Conférence canadienne des étudiants en physique, à la Beijing Normal University, à l'Université Tsinghua et à l'Université de Pékin, ce qui lui a permis de diffuser de l'information à des milliers de participants et de répondre à leurs questions.

En 2012, l'IIQ prévoit embaucher jusqu'à quatre membres du corps professoral, entre six et dix stagiaires postdoctoraux et vingt étudiants de deuxième et troisième cycles.

3. Établir l'IIQ en tant que source de renseignements, d'analyses et de commentaires faisant autorité en matière d'information quantique :

Le troisième objectif stratégique de l'IIQ porte sur la diffusion d'information par différents moyens, notamment par la publication ou la présentation, lors de colloques, de commentaires/analyses des chercheurs sur les principaux développements dans le domaine quantique qui peuvent enrichir le corpus de connaissances. Le site Web de l'IIQ continuera de faire l'objet d'améliorations afin de devenir une source recherchée d'information quantique et de positionner les gens de l'IIQ comme les chefs de file dans le domaine.

Il est également primordial d'informer diverses clientèles – en plus de la communauté scientifique – de la « révolution quantique » et d'inspirer la prochaine génération de chercheurs qui poursuivront le travail de base actuellement en cours. La préparation des premiers effectifs renseignés sur les quanta préparera le terrain à des partenariats productifs avec l'industrie. La prise de conscience du rôle que la science des quanta est appelée à jouer pour notre avenir, le leadership canadien ainsi que la réputation internationale d'excellence de l'IIQ renforcent l'importance des sommes substantielles consacrées à la recherche quantique et assureront le maintien d'un tel investissement.

Dans cette perspective, l'IIQ a élargi ses activités de communication et de diffusion et s'applique principalement à propager les connaissances, à attirer des étudiants à l'IIQ, à

faire connaître le domaine de même qu'à susciter l'intérêt et le soutien de tous les intervenants.

L'équipe chargée des communications et de la diffusion a procédé en septembre 2010 au lancement d'un site Web revampé et plus interactif, comportant des fonctions plus personnalisées selon les clientèles, présentant une plus grande quantité d'information scientifique et faisant davantage appel aux médias sociaux. Une nouvelle vidéothèque, cumulant jusqu'ici plus de 30 000 vues, permet d'expliquer la science quantique au moyen de vidéos plus ou moins complexes selon le cas. La couverture médiatique a pratiquement doublé au cours de la dernière année.

L'IIQ a substantiellement haussé le nombre de visites d'étudiants et de membres du grand public, a mis sur pied un nouveau programme de conférenciers éminents et a participé à divers événements clés dans la communauté, tels que TEDxWaterloo et Portes ouvertes Waterloo.

La stratégie de communication et de diffusion pour les 12 à 18 prochains mois prévoit l'élaboration et la mise en œuvre d'un plan de communications, de diffusion, d'événements et d'autres activités dans le cadre du 10^e anniversaire de l'IIQ, afin de souligner une décennie de réalisations et de progrès; l'amorce d'un travail de recherche et de création afin d'identifier les principaux publics cibles, intervenants et messages nécessaires pour aider à présenter la recherche de calibre mondial d'une manière aussi accessible et efficace que possible; le développement d'outils et de processus aux fins de communication; et la création de liens avec les principaux intervenants et donateurs.

Plus loin, le présent rapport met en lumière les travaux scientifiques de l'IIQ – et les gens qui sont derrière – de manière plus approfondie et détaillée. L'avenir s'annonce prometteur.

1.4 BUDGET ET ÉTATS FINANCIERS – INDUSTRIE CANADA (000 \$)

	2010 (RÉEL)	2011 (RÉEL)	2012 (PRÉVU)	2013 (PRÉVU)	2014 (PRÉVU)	TOTAL
IMMEUBLE	12 615	12 385				25 000
ÉQUIPEMENT	938	1 062	1 000	1 000	1 000	5 000
EFFECTIFS ET OPÉRATIONS	2 947	3 553	4 000	4 500	5 000	20 000
TOTAL	16 500	17 000	5 000	5 500	6 000	50 000

2. FAITS SAILLANTS SCIENTIFIQUES

Cette section porte sur l'élément moteur des activités de l'IIQ – la recherche. Vous trouverez ci-dessous les faits saillants de l'année qui vient de s'écouler, notamment les résultats scientifiques obtenus, le recrutement de nouveaux chercheurs (membres du corps professoral, professeurs adjoints à la recherche et stagiaires postdoctoraux), les nouvelles entreprises nées de cette recherche sur les technologies quantiques, de même que les colloques et ateliers organisés par l'IIQ.

Les chercheurs de l'IIQ tentent de voir comment les lois de la mécanique des quanta peuvent être mises à profit pour créer de nouvelles technologies. Leurs travaux portent plus particulièrement sur de nouvelles approches liées à trois applications : informatique, communication et détection. L'IIQ fait la promotion de la collaboration interdisciplinaire entre les chercheurs spécialisés en mathématiques, en sciences physiques et en génie, tant sur le plan théorique qu'expérimental.

Bien des découvertes sont le fruit de recherches et de conclusions de nature théorique, qui sont par la suite vérifiées et prouvées en laboratoire. Le travail de démonstration de principes en laboratoire fournit alors les connaissances et la méthodologie requises pour l'élaboration de nouvelles technologies quantiques. Nous assistons déjà à de telles avancées – de la théorie au laboratoire, puis à la pratique – dans le cas des capteurs et actionneurs quantiques, qui posséderont une sensibilité et une sélectivité sans égales comparativement à leurs équivalents classiques et sur lesquels pourront s'appuyer les futures technologies quantiques, y compris les ordinateurs quantiques.

Les domaines de recherche mentionnés ci-dessus peuvent être subdivisés en huit thématiques générales :

1. Théorie de l'information quantique
2. Algorithmes quantiques
3. Complexité quantique
4. Cryptographie quantique
5. Correction des erreurs quantiques et insensibilité aux défaillances
6. Traitement optique de l'information quantique
7. Traitement de l'information quantique basé sur le spin
8. Traitement de l'information quantique basé sur la nanoélectronique

Reportez-vous à l'annexe C pour une analyse complète de chacun de ces huit champs de recherche.

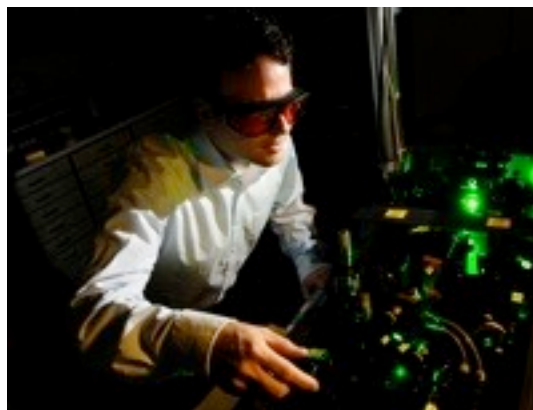
2.1 FAITS SAILLANTS DE LA RECHERCHE

Cette année a débuté en grand, alors qu'un article corédigé par John Watrous, membre du corps professoral de l'IIQ, et Sarvagya Upadhyay, étudiant au doctorat, a raflé le prestigieux prix du meilleur article à l'occasion du Symposium on Theory of Computing (STOC) 2010. L'article, intitulé « QIP = PSPACE », a été sélectionné parmi 279 documents

proposés et 79 finalistes pour son apport significatif entre tous à l'informatique théorique au cours de l'année qui vient de s'écouler. Cet article de même que la reconnaissance dont il a fait subséquemment l'objet dans le milieu scientifique illustrent le haut calibre du travail mené à l'IIQ.

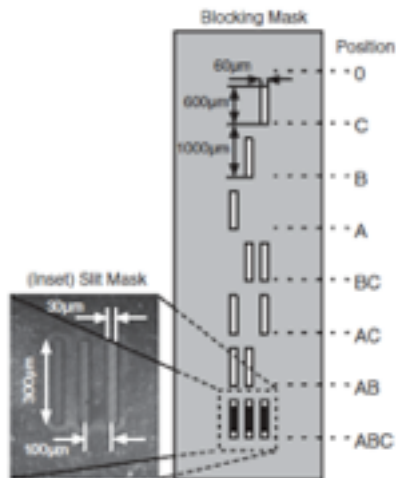
Création de triplets de photons en laboratoire

Tout au long de l'année, plusieurs résultats et percées du plus grand intérêt ont clairement fait la preuve que l'IIQ est en train de récolter les fruits de son investissement dans l'infrastructure expérimentale. Ainsi, dans l'article « Direct Generation of Triplets de photons Using Cascaded Photon-Pair Sources », publié dans Nature 446, 601-603 (2010), des chercheurs travaillant dans les laboratoires d'optique quantique de l'IIQ, en collaboration avec des scientifiques d'Autriche et d'Australie, ont franchi une étape clé : la génération directe de triplets de photons. Par le passé, la génération de paires de photons (particules de lumière) avait révolutionné l'optique quantique et permis l'émergence de technologies telles que la cryptographie quantique et l'informatique quantique au moyen de photons. Ces paires de photons provenaient habituellement de forts rayons laser dirigés vers un cristal, processus appelé « conversion paramétrique ».



Pendant des années, on a tenté en vain de créer des triplets de photons, jusqu'à ce qu'une équipe dirigée par l'IIQ produise d'abord une paire de photons au moyen d'un laser optique, puis divise l'une de ces paires en deux autres photons dans un second cristal. « Cet exploit permet de franchir une nouvelle frontière en optique quantique et donne lieu à une nouvelle catégorie d'expériences en informatique quantique au moyen de photons », a déclaré Thomas Jennewein, chercheur principal, membre du corps enseignant de l'IIQ et professeur au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo. Des travaux plus poussés viseront à produire des états GHZ, bien connus en théorie de l'information quantique, puisqu'ils prédisent la violation déterministe du comportement classique, par opposition aux paires de Bell.

Des chercheurs mettent à l'épreuve la règle fondamentale de la physique quantique



Disposition et dimensions des fentes utilisées lors de l'expérience. Le masque bloquant est doté d'ouverture en fonction de la combinaison de fentes mesurée. Le détail montre une image du masque à trois fentes.

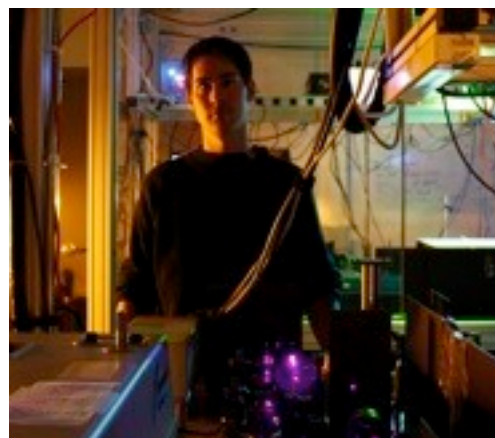
L'annonce de la génération de triplets de photons a été suivie de près par la publication, dans la revue Science, des résultats d'une étude de l'IHQ ayant mis à l'épreuve un principe de base de la mécanique des quanta, la règle de Born : « Ruling out Multi-Order Interference in Quantum Mechanics », Science 23, 418-421 (2010). Cette règle, qui permet de calculer la probabilité qu'une mesure d'un système quantique donne un résultat donné, fait aujourd'hui l'objet d'un vaste consensus alors qu'elle n'a

jamais été véritablement mise à l'épreuve. D'aucuns ont suggéré que certaines théories de la gravité quantique pourraient violer la règle de Born, fournissant ainsi des résultats intéressants au regard de la théorie de la complexité quantique. Pour vérifier cette règle, la stagiaire postdoctorale Urbasi Sinha a mis au point un essai à partir de « triples fentes », variante de la fameuse expérience des doubles fentes d'Young (considérée comme une élégante démonstration des effets quantiques). M^{me} Sinha et ses collaborateurs n'ayant observé aucune violation des prévisions de mécanique quantique, cette expérience a renforcé le rôle de la mécanique des quanta comme pilier de la physique moderne et a ouvert de nouvelles avenues à explorer.

Une équipe fait progresser l'informatique quantique à base de mesures

Dans le cadre d'une autre expérience menée dans les installations d'optique quantique de l'IHQ, des chercheurs ont fait un formidable bond en avant dans le domaine de l'informatique quantique à base de mesures.

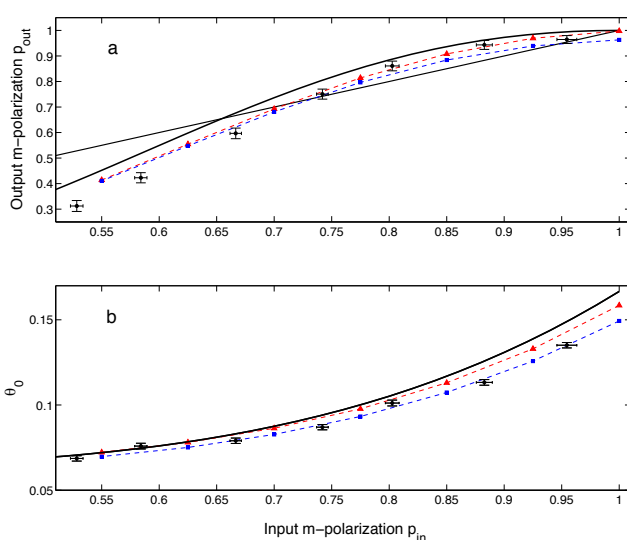
L'expérience misait sur le fait que les états photoniques peuvent simuler d'autres systèmes quantiques, selon Jonathan Lavoie, étudiant au doctorat à l'IHQ et coauteur de l'article intitulé « Optical one-way quantum computing with a simulated valence-bond solid » (Nature Physics 6, 850-845 (2010), publié en octobre dernier. L'équipe a obtenu en laboratoire un résultat jusqu'alors considéré théoriquement comme un étalon pour l'informatique quantique à base de mesures (ou « à sens unique »). Pour la première fois, les chercheurs ont créé et caractérisé un état dit AKLT (Affleck-Kennedy-Lieb-Tasaki), pouvant servir de processeur quantique. Les états AKLT présentent un attrait certain pour l'informatique quantique à base de mesures car on peut les obtenir simplement par le refroidissement, à des températures très basses, du système à l'état solide approprié. Les chercheurs de l'IHQ ont



imaginé des moyens de simuler l'état AKLT en mettant à profit les propriétés des particules fondamentales de la lumière, les photons. L'expérience, qui fait la démonstration de la viabilité du calcul quantique à l'aide des états AKLT, permettra d'éclairer les prochains travaux menés sur la physique de la matière condensée.

« Nos travaux comblent le fossé qui existe entre la physique de la matière condensée et l'information quantique », a déclaré Kevin Resch, membre du corps enseignant de l'IIQ et professeur au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo.
« C'est un domaine qu'il est important d'explorer. »

Percée en matière de correction des erreurs



Résultats de l'expérience au terme de la distillation des états magiques. La m-polarisation finale de l'état magique impur (a) et la probabilité θ_0 (b) de trouver cet état dans le mélange statistique de tous les états résultants possibles en fonction de la m-polarisation de l'état magique impur initial. Les données expérimentales sont représentées par les cercles pleins et les barres d'erreur sont extrapolées en fonction de l'incertitude des paramètres d'ajustement de la courbe. Le point au-dessus de la ligne pleine indique la réussite d'une distillation.

Une des embûches à surmonter lors de la création d'ordinateurs quantiques tient au fait qu'ils sont très sensibles aux erreurs provoquées par des interactions involontaires avec l'environnement. À

n'en pas douter, il est impossible d'éliminer complètement le risque d'erreur dans un dispositif de traitement de l'information quantique, quel qu'il soit. En janvier 2011, des chercheurs de l'IIQ ont publié un article intitulé « Experimental magic state distillation for fault-tolerant quantum computing » (Nature Communications 2, 169 (2011)), qui explique comment ils ont mis en œuvre une nouvelle façon de faire face aux erreurs inhérentes aux systèmes quantiques. De nombreuses méthodes de correction des erreurs et d'insensibilité aux défaillances ont été élaborées au cours des dernières années afin de pallier les imperfections d'ordre quantique. Certaines d'entre elles portent particulièrement sur la capacité de préparer des bits quantiques (qubits) à un état très pur – ce qu'on appelle l'« état magique ». Il s'agit d'un secteur auquel Ben Reichardt, membre du corps enseignant de l'IIQ, a largement contribué au cours des dernières années.

Au cours de cette récente expérience, des chercheurs ont mis en application, pour la première fois, la distillation des états magiques. Cet algorithme quantique consiste à appliquer des opérations quantiques à cinq états magiques imparfaits et à en distiller un d'une plus grande pureté. L'équipe de recherche a implanté le protocole de distillation à l'aide d'un processeur quantique à sept qubits. Afin de mener à bien leur expérience, ils

devaient parvenir à un niveau élevé de maîtrise de leurs qubits. Le résultat obtenu constitue un élément précieux pour la mise en application du traitement de l'information quantique.

Conférence QIP2011, janvier 2011

En janvier, à l'occasion de la conférence QIP2011 à Singapour, Andrew Childs a été invité à donner une présentation au cours de laquelle il a fait état de ses travaux sur les isogénies entre courbes elliptiques. Il est d'ores et déjà connu que les ordinateurs quantiques peuvent avoir raison de plusieurs des systèmes publics de cryptographie les plus courants, comme l'algorithme RSA (un résultat attribuable à Shor) et la cryptographie à base de courbes elliptiques (un résultat attribuable à Zalka, alors stagiaire postdoctoral à l'IIQ). Depuis, les cryptographes ont tenté de créer de nouveaux systèmes de chiffrement insensibles aux attaques quantiques – un champ de recherche appelé cryptographie postquantique. Un de ces systèmes fait appel aux isogénies entre courbes elliptiques. Childs et ses collaborateurs, David Jao et Vladimir Soukharev, ont découvert un algorithme quantique substantiellement plus rapide que l'algorithme classique le plus connu, ce qui donne à penser que ces systèmes de chiffrement pourraient être vulnérables aux attaques quantiques. Il s'agit là d'une observation importante, qui remet en question l'existence de la cryptographie postquantique.

QIP, le colloque international le plus coté qui se consacre aux algorithmes quantiques et qui invite des conférenciers à présenter des mémoires, est auréolé de prestige. L'IIQ était fort bien représenté lors du 14^e atelier sur le traitement de l'information quantique à Singapour, comme en font foi les contributions suivantes :

- « Entanglement can increase asymptotic rates of zero-error classical communication over classical channels », par Debbie Leung, Laura Mancinska, William Matthews, Maris Ozols et Adian Roy
- « Quantum interactive proofs with weak error bounds », par Tsuyoshi Ito, John Watrous et leurs collaborateurs
- « On the solution space of quantum 2-SAT problems », par Jianxin Chen, Bei Zeng et leurs collaborateurs
- « Quantum query and complexity of minor-closed graph properties », par Andrew Childs et Robin Kothari
- « Finding is as easy as detecting for quantum walks », par Maris Ozols et ses collaborateurs
- « Constructing elliptic curve isogenies in quantum subexponential time », par Andrew Childs et ses collaborateurs

Et si l'intrication pouvait changer la donne en communication?



En mars 2011, des chercheurs de l'IIQ ont démontré que l'intrication quantique – la puissante corrélation existant entre les particules – peut améliorer sensiblement la précision des communications entre des éléments. S'inspirant du travail effectué l'année précédente par Will Matthews, stagiaire postdoctoral à l'IIQ, l'équipe a appliqué scientifiquement l'intrication pour assurer une communication par un canal classique « bruyant ». Si l'intrication ne peut en elle-même servir à communiquer, les chercheurs en optique de l'IIQ ont quand même pu démontrer qu'il est

possible de transmettre plus efficacement de l'information par un canal donné lorsqu'on fait appel à l'intrication que par les moyens traditionnellement offerts par la physique. L'équipe a publié ses résultats dans l'article intitulé « Entanglement-Enhanced Classical Communication Over a Noisy Classical Channel », *Physical Review Letters* 106, 110505 (2011). Dans un commentaire publié sur le site physics.aps.org, l'auteur Mark Wilde explique l'expérience en la comparant à un jeu-questionnaire où deux candidats, Alice et Bob, s'affronteraient lors d'une épreuve appelée « Devine quel bouton ». Pour remporter un souper avec Alice dans un restaurant chic, Bob doit deviner sur quel bouton Alice a appuyé au hasard à partir d'un tableau comportant quatre boutons de couleur. Bien que le tableau fournisse des indices sur le bouton qu'Alice a actionné, il est impossible de Bob de savoir avec certitude lequel elle a choisi – à moins de modifier les règles classiques du jeu pour utiliser des règles quantiques. Les chercheurs de l'IIQ ont mis en scène un scénario où Alice et Bob courent de bien meilleures chances de rafler le prix en partageant à l'avance des photons intriqués. Toujours par analogie avec ce même jeu-questionnaire, ils ont illustré un « canal de communication classique bruyant » par lequel Alice et Bob arrivent à communiquer beaucoup mieux en mettant l'intrication à profit. Cette découverte en laboratoire de même que les études théoriques qui l'ont précédée ont également été soulignées dans *Physics Today*.

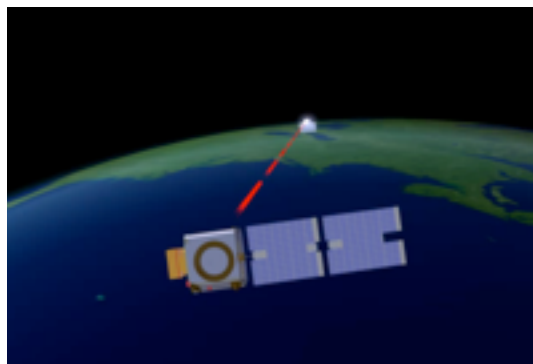
« La possibilité d'utiliser l'intrication de cette manière n'a été reconnue que tout récemment », a déclaré Will Matthews à propos de cette expérience. « C'était formidable de pouvoir travailler avec les chercheurs en optique de l'IIQ pour effectuer aussi rapidement cette démonstration scientifique. En ce moment, je m'emploie à mieux comprendre, sur le plan théorique, dans quelle mesure l'intrication peut être utile dans ce contexte. »

Distribution quantique de clés par satellite

Un autre projet a suscité un vif intérêt à l'IIQ et à l'étranger : il s'agit d'une initiative visant à établir un réseau mondial sécurisé de communication quantique. Un tel réseau permettrait de mettre à l'épreuve certains concepts fondamentaux de physique et ouvre la voie à un système de distribution quantique de clés à l'échelle planétaire. Une équipe

scientifique, sous la direction de Thomas Jennewein, Norbert Lütkenhaus et Raymond Laflamme, travaille au développement de la théorie et de la technologie nécessaires à l'établissement de ce réseau mondial en collaboration avec des partenaires de l'industrie et du gouvernement – COMDEV (concepteur et fabricant mondial d'équipement aérospatial), l'Institut national d'optique et l'Agence spatiale canadienne – ainsi que des partenaires du milieu universitaire – l'Institut Perimeter et les universités de Cambridge, de Calgary et de Toronto.

Schématisation de la distribution quantique de clés par satellite



Ce travail sur la distribution quantique de clés et d'autres facettes de l'optique quantique a contribué à la création de la première entreprise dérivée de l'IIQ : Universal Quantum Devices Incorporated (UQD). La société a pour but de fournir l'appareillage destiné aux grands laboratoires d'optique quantique du monde entier. UQD fournira des instruments d'optique, dont certains sont produits exclusivement par UQD, ayant été créés à l'origine pour servir dans les laboratoires d'optique de l'Institut d'informatique quantique. UQD agira également comme distributeur nord-américain d'instruments d'optique quantique spécialisés qui sont fabriqués outre-mer. Le premier instrument mis de l'avant est une unité logique (IIQLogic Unit), conçue et fabriquée en collaboration avec DotFast Consulting. L'unité combine un analyseur de durée, une porte logique et des circuits ET pour 16 voies d'entrée sur un même dispositif, lequel s'avérera fort utile pour de nombreuses expériences en optique quantique. « Il s'agit d'un produit de haut niveau pour les travaux sur les photons, qui surpasse tout ce qui était disponible jusqu'à maintenant », a déclaré Thomas Jennewein, cofondateur d'UQD et membre du corps enseignant de l'IIQ.

Porte logique IIQ



Articles de l'IIQ parmi les plus cités dans leurs domaines

Chaque année, le New Journal of Physics sélectionne les articles présentant les meilleurs travaux scientifiques qui ont été publiés dans ses pages. En 2010, la revue a choisi un article rédigé par Seth Merkel et Frank Wilhelm, chercheurs à l'IIQ, comme étant l'un des dix meilleurs articles publiés dans le domaine de la physique quantique. Cet article, intitulé « Generation and detection of NOON states in superconducting circuits », a été publié dans le numéro de septembre 2010 de la revue. L'article traite des états NOON, qui sont des états quantiques intriqués hautement non classiques ayant des applications en interférométrie à haute résolution. Merkel et Wilhelm ont démontré

comment ces états peuvent être produits par électrodynamique quantique en circuit au moyen de résonateurs et de qubits supraconducteurs de phase. Cet article de même que les autres faisant partie du palmarès 2010 ont été retenus « parce qu'ils ont présenté de nouvelles études remarquables, ont reçu les plus grands éloges de nos réviseurs internationaux et ont été téléchargés le plus souvent au cours de l'année dernière ».

Sciencewatch.com a analysé les 20 articles sur l'informatique quantique qui ont été le plus cités au cours de la dernière décennie. Deux publications signées par des membres du corps enseignant de l'IIQ se classent parmi les 10 premiers. La toute première place est occupée par l'article intitulé « A scheme for efficient quantum computation with linear optics » et publié par Raymond Laflamme et des collaborateurs dans Nature 409, 46-52 (2001), totalisant 1160 références. En dixième position on retrouve « Experimental one-way quantum computing », par Kevin Resch et des collaborateurs, publié dans Nature 434, 169-176 (2005) et cité 284 fois. Pour plus de renseignements sur ces deux publications, veuillez consulter l'annexe K.

2.2 NOUVEAUX MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT ET PROFESSEURS ADJOINTS À LA RECHERCHE

C'est en juin 2011 que le professeur David Cory s'est joint à l'IIQ et à l'Université de Waterloo, en tant que titulaire de la chaire d'excellence en recherche du Canada (CERC) en traitement de l'information quantique. Le laboratoire ultramoderne de M. Cory au Research Advancement Centre II est muni d'équipements permettant d'effectuer des expériences faisant appel aux spins électroniques et nucléaires, aux qubits supraconducteurs et à l'optique quantique. M. Cory, qui était auparavant rattaché au Massachusetts Institute of Technology, mène des travaux de recherche sur les senseurs et activateurs quantiques. Les travaux de M. Cory devraient contribuer à la création de la première génération d'appareils quantiques d'utilisation pratique. Cette nouvelle technologie trouvera des applications à court et à long termes en médecine, en communication, en biochimie, en physique ainsi qu'en nanoscience.



Dmitry Pushin est entré au service de l'IIQ à titre de professeur adjoint à la recherche en septembre 2010, après avoir travaillé comme associé de recherches postdoctorales auprès du professeur David Cory au Massachusetts Institute of Technology. Pushin est un spécialiste à l'interface de l'interférométrie de neutrons, de la physique de la matière condensée et de l'information quantique. M. Pushin travaille avec le National Institute of Standards and Technology (NIST) en vue d'implanter un code basé sur le « pouvoir d'un seul qubit » qui permettra de renforcer les mesures d'interférométrie de sections magnétiques. Ces travaux pourraient trouver application en science des matériaux, en biologie et en nanotechnologie.



Marco Piani est devenu professeur adjoint à la recherche en septembre 2010. Auparavant, il travaillait à l'IIQ dans le domaine de la théorie de l'information quantique, après s'être joint à l'Institut en octobre 2007 comme stagiaire postdoctoral pour les professeurs Norbert Lütkenhaus et John Watrous. Il s'intéresse principalement à la caractérisation, à la détection et à l'exploitation des aspects non classiques des corrélations observables dans les systèmes quantiques décentralisés.



Jay Gambetta a débuté ses activités comme professeur adjoint à la recherche à l'IIQ en octobre 2010, après avoir fait un stage postdoctoral à l'Institut. Il a participé à des travaux de pointe effectués avec des photons et des qubits supraconducteurs. Un article dans le numéro du 20 juin 2010 de Nature Physics explore la mesure sans démolition quantique (QND) des photons. Cette recherche décrit les techniques de détection de photons dans des circuits hyperfréquences où la perturbation est minimale, qui constituent une étape cruciale du développement des communications

quantiques.

Dans le numéro du 29 septembre 2010 de la revue Nature, M. Gambetta et une équipe d'anciens collègues de Yale ont fait la démonstration de l'intrication de trois qubits dans un circuit supraconducteur.

Pour connaître tous les membres de l'IIQ, incluant la liste de tous les professeurs, professeurs adjoints à la recherche, stagiaires postdoctoraux et étudiants, veuillez consulter la section 3.1.2 ou l'annexe E.

2.3 COLLOQUES ET ATELIERS

L'IIQ a été l'hôte de six colloques en 2010. Destinés à susciter le dialogue et la collaboration entre des chercheurs de haut calibre de tous les coins du monde, ces rassemblements sont le parfait exemple du mandat de recherche interdisciplinaire de l'IIQ. Deux de ces colloques organisés à l'Institut au cours de la dernière année se sont démarqués en raison des résultats prometteurs qui y ont été présentés et des scientifiques de renommée mondiale qui étaient présents.

Pour connaître les détails des six colloques, veuillez consulter la section 3.3.1.7.

L'atelier sur le traitement de l'information quantique au moyen de spins et de supraconducteurs était organisé par Jay Gambetta et Bill Coish, chercheurs à l'IIQ. L'événement s'est déroulé du 17 au 19 mai 2010 et a attiré à Waterloo des chefs de file mondiaux de la supraconductivité et de l'information quantique. L'atelier portait principalement sur les applications d'informatique quantique qui utilisent soit les circuits supraconducteurs, soit les spins dans les semiconducteurs. Outre les applications basées sur ces deux différents systèmes, il a été abondamment question des plateformes hybrides qui tentent de mettre à profit à la fois la longue durée de cohérence des systèmes de spins et le contrôle de précision des qubits supraconducteurs. Plusieurs percées majeures ont été explorées, par exemple le premier registre à trois qubits pour les qubits supraconducteurs. Les milieux de la théorie et de l'expérimentation étaient à peu près également représentés. Les allocutions ont ainsi couvert tout le spectre, des rapports sur les plus récentes techniques en laboratoire aux propositions de nouveaux dispositifs et architectures, en passant par les explications sur les erreurs et la décohérence observées.



L'atelier sur la théorie et la réalisation en pratique de la distribution quantique de clés a eu lieu du 14 au 17 juin 2010. Organisé par les chercheurs de l'IIQ Norbert Lütkenhaus, Michele Mosca, Thomas Jennewein et Marco Piani, l'atelier mettait l'accent sur l'application la plus évoluée à ce jour de la science de l'information quantique, c'est-à-dire la distribution quantique de clés, déjà mise en œuvre dans des situations commerciales de la vraie vie. L'atelier a réuni des experts chevronnés de partout au monde, qui examinent tous les aspects et les sous-champs de la distribution quantique de clés, tant sur le plan théorique qu'au niveau expérimental. Le colloque a connu un vif succès en permettant aux théoriciens et aux expérimentalistes d'échanger leurs points de vue, ce qui donné lieu à de nouvelles idées sur la question. Poursuivant sur cette lancée, les organisateurs tiendront un autre colloque à l'été 2012.

Pour prendre connaissance des six colloques et ateliers de cette année, veuillez consulter la section 3.3.1.7.

3. RÉSULTATS

Les sections qui suivent correspondent aux trois objectifs stratégiques de l'IIQ.

Comme nous l'avons énoncé précédemment, les trois objectifs stratégiques de l'IIQ contribuent à l'atteinte du but à long terme de l'Institut, soit de faire en sorte que le Canada demeure un chef de file du développement des nouvelles technologies. L'IIQ encourage la collaboration entre informaticiens, ingénieurs, mathématiciens et physiciens afin de maintenir sa capacité à déployer de multiples approches expérimentales et théoriques de la recherche en information quantique.

L'IIQ a élaboré un plan de recherche stratégique intégrant ses trois objectifs principaux, sa mission, sa vision ainsi que les huit mesures de vérification spécifiques établies en partenariat avec Industrie Canada. Un diagramme figure à l'annexe S.

Les sections ci-dessous montrent comment l'IIQ entend continuer à bâtir une communauté dynamique de savoir et de recherche afin de consacrer le Canada et Waterloo comme porte-étendards de la révolution quantique sur la scène mondiale.

3.1 POSITIONNER WATERLOO COMME UN CENTRE DE RECHERCHE DE CALIBRE MONDIAL DANS LES TECHNOLOGIES QUANTIQUES ET LEURS APPLICATIONS

Le premier objectif stratégique de l'IIQ, positionner Waterloo comme un centre de recherche de calibre mondial dans les technologies quantiques et leurs applications, s'actualise dans quatre secteurs d'activités spécifiques :

1. Poursuite de travaux de recherche en information quantique
2. Recrutement de chercheurs chevronnés
3. Collaboration avec d'autres chercheurs
4. Gestion de l'édifice, des installations et du laboratoire

En 2011, l'IIQ n'a cessé de faire des progrès remarquables sous tous ces aspects.

Vous trouverez ci-dessous une analyse des objectifs pertinents fixés par l'IIQ dans son rapport 2010 à Industrie Canada, accompagnée de plusieurs paramètres illustrant comment l'Institut est parvenu à atteindre ces objectifs. Pour chaque secteur d'intervention, des faits et chiffres font état des activités menées par l'IIQ en vue de positionner Waterloo comme un centre de recherche de calibre mondial dans les technologies quantiques et leurs applications.

Les objectifs pour l'année 2012 sont présentés à la section 4.

3.1.1 Poursuite de travaux de recherche en information quantique

Le mandat premier de l'Institut consiste à mener des travaux de recherche scientifique en information quantique du meilleur calibre qui soit au monde. Cet objectif a nécessité le recrutement continu de la crème des enseignants, des stagiaires postdoctoraux et des étudiants, l'acquisition d'équipements et de ressources de pointe, de même que la création d'un environnement de travail favorisant l'excellence scientifique. L'expansion de l'Institut permettra à ses chercheurs d'explorer de nouvelles avenues théoriques et expérimentales du traitement de l'information quantique au cours des prochaines années.

Objectifs 2010

- Investiguer de manière novatrice des approches théoriques du traitement de l'information quantique en vue de mieux comprendre l'impact de la mécanique quantique sur ce traitement et d'explorer de nouvelles applications potentielles
 - On trouvera plus de renseignements sur les publications à la section 3.1.1.2
 - On trouvera plus de renseignements sur les projets de recherche concertée à la section 3.1.3.1
- Mettre au point des approches de l'information quantique reposant sur les spins photoniques, nucléaires et électroniques, les points quantiques de même que les technologies supraconductrices, et étudier les conditions requises pour la conception de systèmes de cryptographie quantique terre-satellite
 - Une équipe de recherche de l'IIQ, dirigée par Thomas Jennewein, Norbert Lütkenhaus et Raymond Laflamme, est en train d'élaborer la théorie et la technologie nécessaires à l'établissement d'un réseau mondial sécurisé et encodé par distribution quantique de clés via satellites, en collaboration avec l'Agence spatiale canadienne. Des contacts ont également été établis avec des joueurs importants de l'industrie, dont COM DEV et INO

On trouvera ci-dessous un portrait des subventions accordées à l'IIQ et à ses membres pour l'exercice financier 2011, une revue des publications de l'Institut depuis 2002 ainsi qu'un résumé des références aux travaux de l'IIQ depuis 2001.

Ces trois éléments sont autant d'indicateurs permettant de juger des fruits de la recherche menée à l'IIQ. D'autres paramètres importants, notamment les collaborations et les visites de chercheurs, sont présentés plus loin.

3.1.1.1 Nouvelles subventions

Selon le Bureau de la recherche de l'Université de Waterloo :

Si on inclut les 11 millions de dollars versés par Industrie Canada en 2011, l'IIQ a reçu 80 nouvelles subventions entre le 1^{er} mai 2010 et le 30 avril 2011, pour un total de 25 297 158 \$.

Les subventions accordées à l'IIQ en 2010 avaient totalisé 23 870 979 \$, y compris la contribution de 16,5 millions \$ d'Industrie Canada.

Pour consulter le sommaire des subventions de l'IIQ pour l'exercice financier 2011, reportez-vous à l'annexe H.

« L'IIQ est une institution remarquable, qui fait l'admiration de tous ses pairs et concurrents. »

Charles Clark,
Chef, Division de la physique électronique et optique
National Institute of Standards and Technology

3.1.1.2 Publications

L'IIQ a implanté un système amélioré de suivi des publications en 2011¹. La quantité et la qualité des publications démontrent de solides résultats scientifiques, comparables à ceux d'autres institutions de grande envergure internationale.

Le graphique ci-dessous décrit les publications issues de l'IIQ pour l'année civile 2010.

D'importantes publications dans les revues Nature, Nature Photonics, Nature Physics, Physical Review Letters et Science constituent des ajouts dignes de mention au corpus de publications.

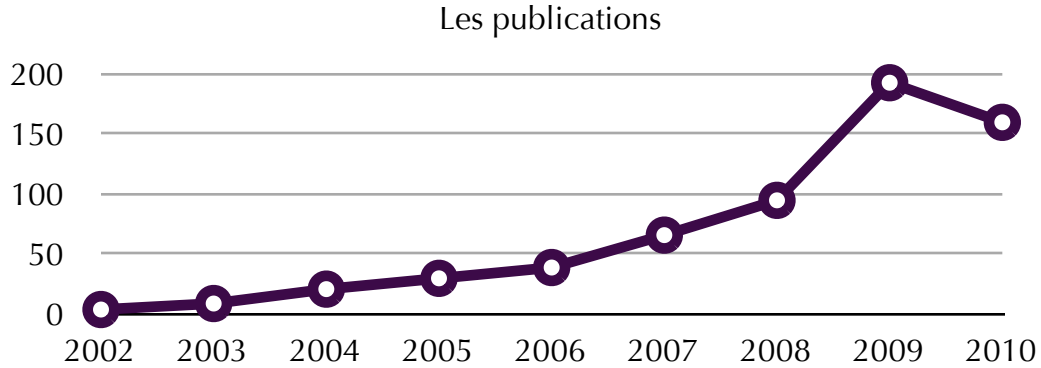
PUBLICATION	QUANTITÉ
NATURE	3
NATURE PHOTONICS	1
NATURE PHYSICS	5
PHYSICAL REVIEW LETTERS	13
SCIENCE	1
STOC	2

Les publications ont été colligées principalement à partir des curriculum vitae et des rapports d'enseignement annuels de chaque chercheur ayant fait partie de l'IIQ depuis sa création². Pour chacun d'eux, on a créé et archivé un profil recensant toutes les publications associées à l'IIQ. Les métadonnées de chaque publication ont ensuite été importées de diverses bases de données scientifiques et archives électroniques, incluant Web of Science, Scopus, IEEE Xplore, arXiv et Cryptography ePrint Archive.

Pour connaître la liste des publications de l'IIQ pour l'année civile 2010, consultez l'annexe I.

¹ L'IIQ A IMPLANTÉ DE MEILLEURES PROCÉDURES DE SUIVI QUI ONT PERMIS DE BROSSER UN TABLEAU PLUS PRÉCIS DES PUBLICATIONS ET CITATIONS. CELA A PERMIS D'ACTUALISER LES DONNÉES DE 2010 DANS LE PRÉSENT RAPPORT AFIN D'ÉTABLIR UNE COMPARAISON PLUS EXACTE AVEC LES ACTIVITÉS DE L'AN DERNIER.

² LES CHERCHEURS DE L'IIQ COMPRENNENT LES MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT, LES PROFESSEURS ADJOINTS À LA RECHERCHE, CERTAINS MEMBRES ASSOCIÉS DE L'IIQ, LES STAGIAIRES POSTDOCTORAUX ET LES VISITEURS DE LONG SÉJOUR.



ANNÉE	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
PUBLICATIONS	4	9	21	30	39	66	95	193	160

Ne manquez pas de visiter la « bibliothèque quantique » de l'IIQ à l'adresse pubs.iqc.ca afin d'explorer la base de données des publications électroniques de l'Institut, lancée en avril 2011. Ce dépôt d'archives permet d'emmagasiner, de partager et d'interroger tout le matériel scientifique numérique de l'IIQ.

Dans un récent rapport sur la capacité quantique rédigé par le Gouvernement du Canada, l'Université de Waterloo (Institut d'informatique quantique) se classait au cinquième rang mondial pour ses affiliations institutionnelles relativement aux publications sur l'informatique quantique.

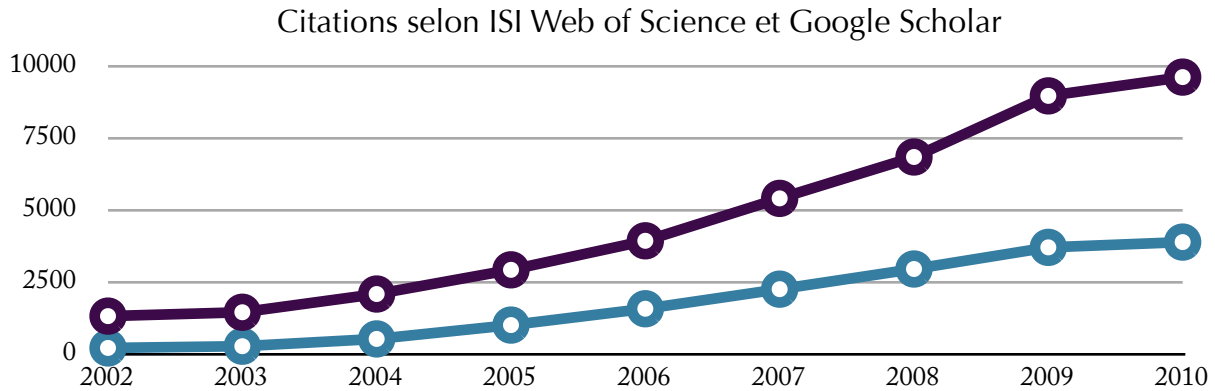
3.1.1.3 Citations

Le graphique ci-dessous illustre le nombre de fois où des publications provenant nommément de l'Institut d'informatique quantique ont été citées depuis 2002. Ce graphique met en parallèle les citations compilées par Google Scholar et par ISI Web of Science³.

De la même manière, on devrait interpréter ces tendances à la lumière des autres paramètres démontrant les progrès de la recherche de l'IIQ en technologie quantique, notamment au chapitre des publications, des projets de recherche concertée, des visiteurs scientifiques, des présentations et plus.

³ LES DONNÉES COMPILÉES PAR ISI WEB OF SCIENCE ET PAR GOOGLE SCHOLAR ONT SERVI AU CALCUL DU NOMBRE TOTAL DE FOIS OÙ LES PUBLICATIONS (ASSOCIÉES À L'IIQ) DE CHAQUE CHERCHEUR ONT ÉTÉ CITÉES AU COURS D'UNE ANNÉE DONNÉE. CES CHIFFRES ONT ENSUITE ÉTÉ UTILISÉS POUR OBTENIR LE TOTAL CUMULATIF DES CITATIONS POUR LES PUBLICATIONS DE L'IIQ À CHACUNE DES ANNÉES, EN DÉBUTANT PAR 2001.

○ Google Scholar ○ ISI Web of Science



	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ISI WEB OF SCIENCE	222	282	535	1016	1583	2263	2963	3714	3897
GOOGLE SCHOLAR	1327	1461	2094	2934	3942	5415	6852	8947	9626

Comme ces données ont été recueillies en mars 2011, il est trop tôt pour établir le compte définitif des citations dont les publications de 2010 ont fait l'objet. Un portrait plus exact de ces références sera présenté dans notre rapport 2012.

L'IIQ collige également des données bibliographiques additionnelles, qui sont disponibles sur demande.

Palmarès des 10 articles les plus souvent cités

Sciencewatch.com a analysé les 20 articles sur l'informatique quantique qui ont été le plus souvent cités au cours de la dernière décennie. Deux articles signés par des membres du corps enseignant de l'IIQ se classent parmi les 10 premiers.

La toute première place est occupée par l'article intitulé « A scheme for efficient quantum computation with linear optics » et publié par Raymond Laflamme et des collaborateurs dans Nature 409, 46-52 (2001), totalisant 1160 références.

En dixième position on retrouve « Experimental one-way quantum computing », par Kevin Resch et des collaborateurs, publié dans Nature 434, 169-176 (2005) et cité 284 fois.

Pour plus de renseignements sur ces deux publications, veuillez consulter l'annexe K.

La période de référence de cette base de données s'étend de 1999 au 31 décembre 2009 (sixième période bimestrielle de 2009). La base de données réunissait 12 386 articles (10 ans) / 3 541 articles (2 ans). Pour établir les palmarès des 20 principaux articles de la dernière décennie et des deux dernières années, on a restreint la recherche au moyen des mots-clés « quantum comput* ». Cette précision a permis de dégager 20 articles sur un total de 1 422 (10 ans) et 243 (2 ans).

Pour obtenir la liste complète des articles, visitez <http://sciencewatch.com/ana/st/quantum/papers10yr/>

« L'IIQ placera Waterloo aux portes des nouvelles frontières du savoir. »

David Johnston, Gouverneur général du Canada,
Ancien président de l'Université de Waterloo

3.1.2 Recrutement de chercheurs

La mission de l'IIQ est de développer et de faire avancer la science et la technologie de l'information quantique au plus haut niveau à l'échelle internationale par la collaboration entre informaticiens, ingénieurs, mathématiciens et physiciens. Pour ce faire, l'IIQ doit continuer à bâtir une équipe de théoriciens et d'expérimentateurs qui font figure de chefs de file dans leurs disciplines respectives. Avec le concours de chercheurs d'aussi haut calibre, l'IIQ pourra atteindre ses objectifs stratégiques, soit de devenir un pôle d'attraction pour les étudiants et les stagiaires postdoctoraux, de mener des travaux de recherche de calibre mondial et de devenir une source de renseignements, d'analyses et de commentaires faisant autorité en matière d'information quantique.

Objectifs 2010

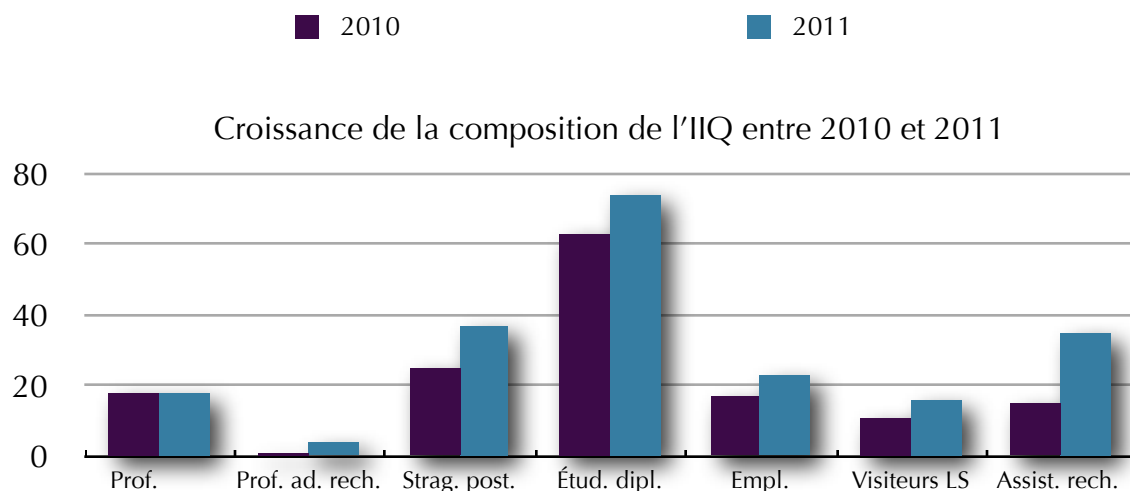
- Recruter jusqu'à trois nouveaux membres du corps professoral
- Recruter de six à dix nouveaux stagiaires postdoctoraux
- Recruter vingt nouveaux étudiants diplômés
- Tirer profit des conférences et des forums dans la communauté pour recruter de nouveaux membres
 - L'IIQ a organisé six conférences et participé à sept activités de recrutement auprès d'étudiants diplômés. On trouvera plus de détails sur ces activités de recrutement à la section 3.3.1.3

Ci-dessous figure un portrait du nombre de chercheurs à l'IIQ durant l'exercice financier 2011, des objectifs de recrutement de l'IIQ et du nombre réel de personnes recrutées. Pour plus de renseignements à propos du Dr David Cory, dernier membre à se joindre au corps enseignant de l'IIQ et titulaire de la chaire d'excellence en recherche du Canada en traitement de l'information quantique, ou à propos des nouveaux professeurs adjoints à la recherche, reportez-vous à la section 2.2.

3.1.2.1 Chercheurs de l'IIQ

Au cours des prochaines années, l'IIQ prévoit compter 30 membres du corps enseignant, 50 stagiaires postdoctoraux et 125 étudiants diplômés.

Le graphique ci-dessous illustre l'augmentation du nombre de chercheurs de l'IIQ entre 2010 et 2011.



Au cours de l'exercice financier 2011, l'IIQ a accueilli 18 membres du corps enseignant, 4 professeurs adjoints à la recherche, 37 stagiaires postdoctoraux, 74 étudiants diplômés, 35 assistants de recherche, 16 visiteurs de long séjour et 23 employés de soutien administratif.

3.1.2.2 Objectifs de recrutement

	OBJECTIF DE RECRUTEMENT	CHERCHEURS RECRUTÉS
MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT	1 À 3	1 TITULAIRE DE LA CHAIRE D'EXCELLENCE EN RECHERCHE DU CANADA EN TRAITEMENT DE L'INFORMATION QUANTIQUE
PROFESSEURS ADJOINTS À LA RECHERCHE		3
STAGIAIRES POSTDOCTORAUX	6 À 10	18
ÉTUDIANTS DIPLÔMÉS	20	20

Les stagiaires postdoctoraux recrutés par l'IIQ au cours de l'exercice financier 2011 provenaient des institutions suivantes :

- Académie autrichienne des sciences, Autriche
- Université Harvard, É.-U.
- Université Joseph Fourier, France
- Université Kinki, Japon

Université Nicolaus Copernicus, Pologne
Institut Perimeter, Canada
Queen Mary (Université de Londres), R.-U.
Rutgers (Université d'État du New Jersey), É.-U.
Université Tsinghua, Chine
Université de la Californie (Davis), É.-U.
Université de la Georgie, É.-U.
Université de Toronto, Canada
Université de Vienne, Autriche
Université de Waterloo, Canada

On trouvera plus de plus amples renseignements sur le recrutement des étudiants à la 3.2.1.

3.1.3 Collaboration avec d'autres chercheurs

Le traitement de l'information quantique est un domaine qui embrasse plusieurs disciplines – la physique, la chimie, l'informatique, les mathématiques et plus encore. Les percées dans ce domaine naîtront de la collaboration entre chercheurs de diverses spécialités. La stratégie adoptée par l'IIQ pour assurer sa réussite consiste à encourager la recherche interdisciplinaire entre les divers groupes présents à l'Institut et des collaborateurs au pays et à l'étranger.

Objectifs 2010

- Que l'IIQ agisse comme catalyseur pour faciliter la collaboration entre scientifiques intéressés par la recherche en informatique quantique grâce à des réseaux tels que QuantumWorks, le programme Information quantique de l'ICRA et les réseaux stratégiques du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG)
- Que les chercheurs de l'IIQ assistent à des conférences internationales sur le traitement de l'information quantique afin de bâtir des réseaux et de créer des liens
 - L'information portant sur les présentations effectuées par les membres du corps enseignant de l'IIQ au pays et à l'étranger figure à la section 3.1.1.9
- Augmentation du nombre de publications cosignées par des chercheurs de l'IIQ et des collaborateurs externes
 - L'information relative aux publications est présentée à la section 3.1.1.2
- Organisation de trois colloques réunissant des participants de plusieurs disciplines
 - L'IIQ a organisé six colloques durant l'exercice financier 2011; on trouvera plus de détails sur ces conférences à la section 3.3.1.7
- Poursuivre, améliorer et multiplier les visites de chercheurs de l'étranger à l'IIQ
 - L'IIQ a accueilli 138 visiteurs au cours de l'exercice financier 2011; pour plus de renseignements sur les visiteurs des secteurs scientifique et académique, reportez-vous à la section 3.1.3.2

La section suivante refait le compte des projets de recherche concertée auxquels les chercheurs de l'IIQ ont participé au cours de l'année civile 2010 et des réseaux de recherche tels que ceux mentionnés ci-dessus. Suivent également un récapitulatif des

visiteurs (secteurs scientifique et académique) reçus au cours de l'exercice financier 2011 ainsi qu'une liste de protocoles d'entente signés par l'IIQ.

Plusieurs indicateurs témoignent de l'implication de l'IIQ dans la recherche interdisciplinaire. D'autres mesures importantes sont présentées dans les prochaines sections.

3.1.3.1 Projets de recherche concertée

La recherche concertée implique un réseautage entre les chercheurs de l'IIQ et des scientifiques du monde entier afin de mener des projets en collaboration et d'en publier conjointement les résultats. Au cours de l'année civile 2010, les membres du corps enseignant de l'IIQ ont collaboré avec 166 chercheurs de l'extérieur dans la publication de 56 articles conjoints. Comme nous le mentionnons à la page précédente, plusieurs de ces publications sont le fruit de collaborations entre chercheurs de l'IIQ à l'interne.

56	ARTICLES COSIGNÉS PAR DES MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT DE L'IIQ ET DES CHERCHEURS DE L'EXTÉRIEUR DE L'IIQ
166	NOMBRE DE COAUTEURS DE L'EXTÉRIEUR DE L'IIQ DANS CES PUBLICATIONS
96	INSTITUTS DONT LES CHERCHEURS ONT COLLABORÉ AVEC DES MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT DE L'IIQ

En 2009, les membres du corps enseignant de l'IIQ avaient collaboré avec 141 coauteurs de l'extérieur de l'IIQ; on note donc une augmentation de 25 collaborations (nouvelles ou renouvelées) pour l'année civile 2010. En 2009, il y avait eu 41 publications conjointes, tandis qu'il y en a eu 56 en 2010. Ces chiffres démontrent un élargissement du réseau international de l'IIQ laissant présager un développement prometteur pour la suite des choses.

Les chercheurs de l'IIQ ont participé à des projets de recherche concertée avec d'autres instituts dans 20 pays du monde. L'illustration suivante présente une mappemonde où sont mis en évidence les liens entre l'IIQ et les pays où sont situés les instituts collaborateurs. Les régions en violet foncé sont celles où il y a davantage d'établissements collaborateurs.



Les chercheurs de l'IIQ ont travaillé avec 166 collaborateurs de 96 instituts répartis dans 20 pays.

Réseaux de recherche

Afin d'aider à positionner Waterloo comme un centre de calibre international pour la recherche sur les technologies quantiques et leurs applications, l'IIQ entend continuer à faciliter la collaboration entre scientifiques du domaine quantique par l'entremise de réseaux de recherche.

QuantumWorks, le réseau canadien de recherche en traitement de l'information quantique (installé à l'Institut d'information quantique) a été mis sur pied en tant que plateforme d'innovation du CRSNG en 2006. Ce réseau a servi d'organisme-cadre pour permettre la collaboration interdisciplinaire dans le domaine de l'information quantique au Canada. Il a également été en lien avec des intervenants des secteurs public et privé, y compris le Centre de la sécurité des télécommunications Canada et l'ETSI. Le mandat de QuantumWorks prendra fin à l'automne 2011.

Une demande de nouveau réseau de recherche a été soumise au CRSNG afin de créer le « Nano-Qubits Network » (NNQ). Le directeur scientifique qui a été proposé pour le NNQ, David Cory, est titulaire de la chaire d'excellence en recherche du Canada en traitement de l'information quantique et est rattaché à l'IIQ. Tout comme QuantumWorks, le NNQ a une portée pancanadienne, avec des collaborations entre 18 chercheurs de l'Université de Sherbrooke, de l'Université McGill, de l'Université d'Ottawa, de l'Université de la Colombie-Britannique, de l'Université de Victoria et de l'Université de Waterloo.

Veillez consulter l'annexe J pour obtenir une liste d'établissements collaborateurs.

« Je n'avais pas la moindre idée de l'existence d'un endroit du nom de Waterloo à l'extérieur de l'Europe avant la création de l'Institut Perimeter et de l'IIQ; maintenant, cette ville est véritablement sur la carte. Selon moi, c'est la ville au Canada en matière d'information quantique. »

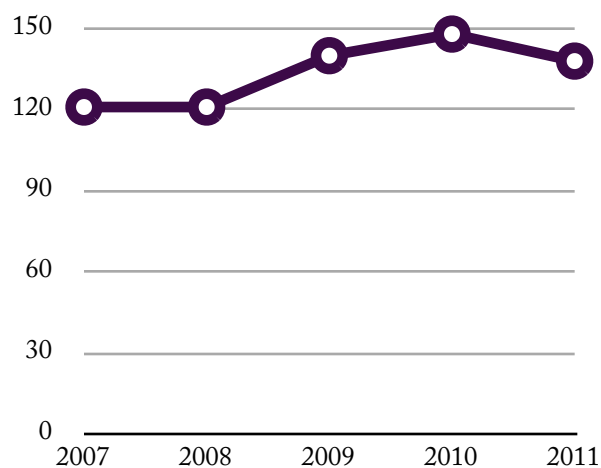
Tommaso Calarco
Université de Ulm, Allemagne

3.1.3.2 Visiteurs académiques et scientifiques

Cent-trente-huit chercheurs des secteurs académique et scientifique ont visité l'IIQ au cours de l'exercice financier 2011.

L'IIQ a accueilli ces visiteurs provenant d'institutions réputées des quatre coins du monde : Allemagne, Australie, Autriche, Canada, Chine, Corée, Espagne, États-Unis, France, Inde, Japon, Lettonie, Norvège, Pays-Bas, Royaume-Uni, Singapour, Suisse et Ukraine.

Le graphique ci-dessous illustre la tendance quant au nombre de visiteurs académiques de l'IIQ au cours des cinq dernières années. Pour obtenir la liste complète des visiteurs académiques et scientifiques de l'IIQ en 2011, consultez l'annexe L.



EXERCICE FINANCIER	N^{BRE} DE VISITEURS
2011	138
2010	148
2009	140
2008	121
2007	121

Pour obtenir des renseignements à propos des visites de représentants du gouvernement, de gens de l'industrie ou de gens d'affaires et de groupes du milieu universitaire, reportez-vous à la section 3.3.1.6.

« L'IIQ est un endroit extraordinaire et j'espère pouvoir un jour m'y rendre à nouveau. »
Professeur Avinatan Hassidim, Massachusetts Institute of Technology

QuantumWorks accueille également des visiteurs à l'Institut d'informatique quantique. Au cours de l'exercice financier 2011, le réseau a invité 26 visiteurs. Vous trouvez les noms de ces 26 autres personnes à l'annexe L.

3.1.3.3 Protocoles d'entente

L'IIQ a conclu à ce jour un total de six ententes. Il s'agit généralement d'ententes entre parties contribuant à faciliter les projets de recherche concertée, la recherche conjointe et la poursuite d'objectifs scientifiques communs.

National Research Council (NRC) – Protocole d'entente (mai 2010)
Université nationale de Singapour – Protocole d'entente (mars 2010)
International Business Machines (IBM) – Licence d'utilisation de logiciel (janvier 2010)
Conseil national des sciences de Taïwan – Entente de principe (décembre 2009)
Institut indien de technologie, Kanpur – Protocole d'entente (avril 2006)
Institut national d'informatique, Japon – Protocole d'entente (décembre 2005)

3.1.4 Gestion de l'édifice, des installations et du laboratoire

L'existence d'une infrastructure permettant la poursuite de travaux scientifiques de calibre international est essentielle à la réussite de l'Institut. L'IIQ réside actuellement dans deux bâtiments du campus nord de l'Université de Waterloo, soit les centres d'avancement de la recherche (Research Advancement Centres) I et II (RAC I et RAC II). Ces deux bâtiments disposent de laboratoires pour la recherche dans divers domaines : optique, qubits supraconducteurs, points quantiques, résonance magnétique nucléaire et électronique, détecteurs de photons uniques et capteurs quantiques. De plus, une salle blanche temporaire a été aménagée pour répondre aux besoins des chercheurs jusqu'à ce que les installations du Mike & Ophelia Lazaridis Quantum-Nano Centre soient prêtes. Les fonds versés par Industrie Canada ont été indispensables à l'achèvement de la salle blanche du RAC I, une étape importante pour rehausser la compétitivité de l'IIQ à l'échelle internationale.

La construction du Mike & Ophelia Lazaridis Quantum-Nano Centre (QNC) devrait prendre fin en juillet 2011. Le centre, situé au cœur du campus principal de l'Université de Waterloo, deviendra une fois complété le nouveau quartier général de l'IIQ. Il accueillera un laboratoire de fabrication et de métrologie de 20 000 pieds carrés ainsi que l'Institut de nanotechnologie de Waterloo. L'IIQ conservera son espace de laboratoire sur le campus nord de l'Université de Waterloo aux RAC I et RAC II.

Objectifs 2010

- Poursuivre la construction du Mike & Ophelia Lazaridis Quantum-Nano Centre et s'assurer que le bâtiment est construit selon les spécifications, dans le respect de l'échéancier et du budget
- Préparer l'équipement et les autres ressources requises pour l'expansion au QNC
- Continuer l'acquisition et l'entretien des laboratoires aux RAC I et RAC II

Voici ci-dessous un survol des changements qui ont eu lieu dans chacune des trois installations de recherche de l'IIQ au cours de la dernière année.

3.1.4.1 Centre d'avancement de la recherche I

Les fonds versés par Industrie Canada ont servi à l'acquisition d'équipement de laboratoire expérimental utilisé au RAC I.

Salle blanche du RAC I :

Les systèmes installés depuis le rapport de l'an dernier comprennent :

- Évaporateur par faisceau d'électrons pour les procédés « lift-off » utilisés par Baugh et Lupascu
- Gravure de métaux tels que : Al, Cr et Nb par ICP-RIE
- Gravure profonde de silicone par RIE au moyen de procédés Bosch ou à gaz mixtes
- Système de gravure par plasma oxygène pour le retrait de la photorésine
- Système de dépôts par couches atomiques aggloméré à un système de dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma (ALD/PECVD) pour le dépôt d'une vaste gamme de pellicules minces, agissant à la fois comme conducteurs et isolants, ainsi que des oxydes conducteurs transparents (OCT)
- Station de sondage électrique



L'équipe des technologies de l'information de l'IIQ a mis sur pied le site Web de l'installation de fabrication, qui comprend un programme de gestion pour la réservation de temps d'utilisation de l'équipement, des documents/procédures de formation détaillés, des recettes de procédés couramment utilisés par les chercheurs, etc.

Les fonds versés par Industrie Canada ont servi aux éléments suivants au RAC I.

- Unité de refroidissement pour les détecteurs de photons abaissant les températures à -80°C pour assurer la stabilité du système
 - Le système est utilisé pour des expériences en cryptographie quantique (en espace libre et par fibre optique) et des expériences avec des triplets de photons

- Requiert des détecteurs sensibles aux photons télécom, qui doivent être refroidis entre -50°C et -80°C
- Cellule de Pockels pour les expériences avec des triplets de photons
- Laser pour les expériences avec des triplets de photons
- Entretien du réfrigérateur à dilution
- Préamplificateur
- Masque photographique sur mesure pour la fabrication de nanodispositifs, en particulier pour les procédés de photolithographie
- Écran magnétique pour le cryostat
- Deux amplificateurs à faible bruit
- Circulateur micro-ondes
- Aimant vectoriel à 2 axes, 6 tesla
- Câble coaxial supraconducteur cryogénique
- Boîte de rangement des échantillons pour les dispositifs microfabriqués
- Amplificateur à faible bruit couplé en c.c. pour augmenter les signaux à large bande couplés en c.c.
- Analyseur de réseau vectoriel
- Analyseur de spectre
- Amplificateur à verrouillage pour le faible bruit électrique
- poste de soudage pour les composants montés en surface (CMS)
- Rondelles cryogéniques pour la détection de photons uniques
- Microscope
- Diverses pièces et composantes partagées

3.1.4.2 Centre d'avancement de la recherche II

La construction du Centre d'avancement de la recherche II (RAC II) a été complétée au printemps 2010 et dès la fin de l'été l'équipement de laboratoire du professeur David Cory était installé au rez-de-chaussée.

Même si les fonds d'Industrie Canada ont été principalement consacrés aux laboratoires du RAC I, les nouveaux équipements énumérés ci-dessous ont été ajoutés au RAC II.



Le laboratoire se concentre sur des approches de la recherche quantique axées sur les spins, en mettant l'accent sur le développement et l'ingénierie de capteurs, actionneurs et transducteurs quantiques sensibles et robustes, dans une perspective à long terme de concevoir des dispositifs quantiques.

Entièrement fonctionnel, le laboratoire du RAC II est doté de l'équipement suivant :

- Sept spectromètres de résonance magnétique nucléaire
 - Fabriqués par Bruker BioSpin, dotés des puissances suivantes : 600 MHz, 400 MHz, 300 MHz, 142 MHz et 100 MHz
- Une configuration de résonance magnétique nucléaire à détection optique
- Une configuration de résonance de spin électronique nucléaire à détection électrique
- Un réfrigérateur à dilution
- Un système à l'hélium 3
- Une station de sondage
- Un spectromètre de résonance de spin électronique en bande X à ondes continues
- Un spectromètre de spin électronique ENDOR pulsé en bande X
- Un système de résonance de spin électronique pulsé en bande Q
- Un système de résonance de spin électronique pulsé en bande S
- Un système de résonance de spin électronique en bande V
- Un système de microscopie à force atomique
- Un spectromètre de résonance quadripolaire nucléaire
- Un micro-tomodensitomètre

Tout l'équipement a été transféré du laboratoire du professeur David Cory au Massachusetts Institute of Technology, à l'exception du système de microscopie à force atomique, de la station de sondage et de l'un des spectromètres de 300 MHz.

3.1.4.3 Le Mike & Ophelia Lazaridis Quantum-Nano Centre

Le Mike & Ophelia Lazaridis Quantum-Nano Centre est une installation à la fine pointe qui renforcera encore davantage la réputation de centre de recherche de calibre international de l'IIQ en offrant des conditions de recherche idéales, en faisant la promotion de la recherche interdisciplinaire concertée et en agissant comme pôle d'attraction pour les plus grands chercheurs au monde.

Le centre accueillera un laboratoire de fabrication et de métrologie de 20 000 pieds carrés, ainsi que l'Institut de nanotechnologie de Waterloo (Waterloo Institute for Nanotechnology ou WIN). Le bâtiment favorisera la collaboration interdisciplinaire par ses nombreux espaces communs, salons et salles de réunion. Le centre permettra à l'Institut de poursuivre sa croissance dynamique, puisque ce dernier prévoit compter 30 enseignants, 50 stagiaires postdoctoraux et 125 étudiants diplômés au cours des années à venir.

Trois principes ont guidé le travail des concepteurs des installations :

1. L'endroit doit être fonctionnel, c.-à-d. qu'il doit répondre aux normes scientifiques les plus sévères, incluant des normes rigoureuses relativement à la vibration et à la température, à l'humidité et au faible rayonnement électromagnétique.
2. Il doit encourager les interactions et la collaboration entre les chercheurs et les étudiants.
3. Il doit attirer les plus grands chercheurs à Waterloo.

La date d'achèvement de la construction des installations a été fixée en juillet 2011. La mise en service est une procédure complexe et se prolongera jusqu'à l'automne; on prévoit commencer le déménagement des personnes et des laboratoires dans l'édifice au début de 2012.

Au 30 avril, la construction du Mike & Ophelia Lazaridis Quantum-Nano Centre était complétée à 85 pour cent.

Le budget approuvé a été respecté et la construction a été effectuée selon les spécifications de l'Université de Waterloo.

Tous les fonds versés par Industrie Canada pour l'exercice financier 2011 relativement à la construction du Mike & Ophelia Lazaridis Quantum-Nano Centre ont été utilisés. La construction du QNC a créé au total de 250 emplois liés à la subvention d'Industrie Canada en 2010 et 2011⁴. Il y a eu 124 nouveaux emplois en 2011 et 126 en 2010.

La mise en service des installations sera complétée au début de 2012.

3.2 DEVENIR UN PÔLE D'ATTRACTION POUR LE PERSONNEL HAUTEMENT QUALIFIÉ DANS LE DOMAINE DE L'INFORMATION QUANTIQUE

Le deuxième objectif de l'IIQ – devenir un pôle d'attraction pour le personnel hautement qualifié dans le domaine de l'information quantique – se réalise principalement par l'attraction, le perfectionnement et la formation d'étudiants et de chercheurs.

Dans la section qui suit, vous trouverez une analyse des objectifs pertinents que l'IIQ s'était fixés dans son rapport 2010 à Industrie Canada, de même que plusieurs données chiffrées démontrant dans quelle mesure ces objectifs ont été atteints. Chaque secteur d'intérêt est assorti de faits et de chiffres qui illustrent les activités de l'Institut en lien avec le second objectif stratégique, soit de devenir un pôle d'attraction pour le personnel hautement qualifié dans le domaine de l'information quantique.

On trouvera les objectifs fixés pour l'année 2012 à la section 4.



⁴ EN CONSIDÉRANT QUE 100 000 \$ ÉQUIVAUT À UN EMPLOI – AVEC LES DONNÉES PROJETÉES D'AVRIL 2011.

3.2.1 Attraction, perfectionnement et formation de personnel hautement qualifié

C'est la génération actuelle d'étudiants qui ouvrira la voie à la réalisation et à la commercialisation de technologies pratiques d'information quantique. La prospection d'étudiants éventuels, leur recrutement à l'IIQ et la mise à leur disposition des ressources et de l'encadrement nécessaires sont autant d'éléments essentiels à la mission et à la vision de l'IIQ.

Objectifs 2010

- Tenir un événement « portes ouvertes » pour les étudiants diplômés afin d'attirer d'éventuelles inscriptions
 - L'IIQ a organisé des visites pour les étudiants diplômés de l'Université de Waterloo, de l'Université Wilfrid Laurier, de l'Université Laurentienne et de l'Université de Guelph. Les étudiants du programme Perimeter Scholars International (PSI) ont été invités à une deuxième année d'études à l'IIQ
 - Deux étudiants du programme PSI se sont joints à l'IIQ pour les sessions d'automne et d'hiver, et trois ont été invités à s'y joindre à l'automne 2011
- Accroître la visibilité et le contenu du programme d'études supérieures sur le site Web de l'IIQ
 - La section des études supérieures sur iqc.uwaterloo.ca/welcome/graduate fournit désormais le programme détaillé et des renseignements sur les cours. Pour en savoir plus sur le site Web de l'IIQ, veuillez consulter la section 3.3.2.3
- Participer à au moins quatre salons des diplômés et organiser une séance d'information pour les étudiants de l'Université de Waterloo
 - L'IIQ a participé à sept événements de recrutement de diplômés. Pour plus de renseignements sur les salons des diplômés, voyez la section 3.3.1.2
- Recueillir au moins 120 demandes d'inscription au programme d'études supérieures de l'IIQ
 - Il y a eu 195 demandes. Pour en savoir plus à propos des demandes d'inscription au programme, reportez-vous à la section 3.2.1.2

Nous vous présentons ci-dessous une analyse des données quantitatives liées à l'attraction, au perfectionnement et à la formation de personnel hautement qualifié, incluant : le nombre de demandes d'emploi comme chercheurs à l'Institut, les chercheurs du Canada et de l'étranger à l'IIQ, l'information à propos du programme d'études supérieures en information quantique, les cours dispensés au cours de la dernière année, et l'information relative aux étudiants diplômés actuels et précédents.

3.2.1.1 Composition canadienne et étrangère

Le tableau ci-dessous indique la citoyenneté des professeurs, professeurs adjoints à la recherche, stagiaires postdoctoraux et étudiants diplômés de l'IIQ.

	CITOYENNETÉ CANADIENNE/ DOUBLE CITOYENNETÉ	DEMANDE DE RÉSIDENTE PERMANENTE	INTERNATIONAL
PROFESSEURS	11	1	6
PROF. ADJ. À LA RECHERCHE	1	0	3
STAGIAIRES POSTDOCTORAUX	11	0	26
ÉTUDIANTS DIPLOMÉS	32	0	42

« L'IIQ semble être une initiative extrêmement fructueuse, qui attire la crème des spécialistes de l'informatique quantique et les amène à travailler ensemble. C'est un effort très louable. »

Andrew Cleland, Université de la Californie, Santa Barbara

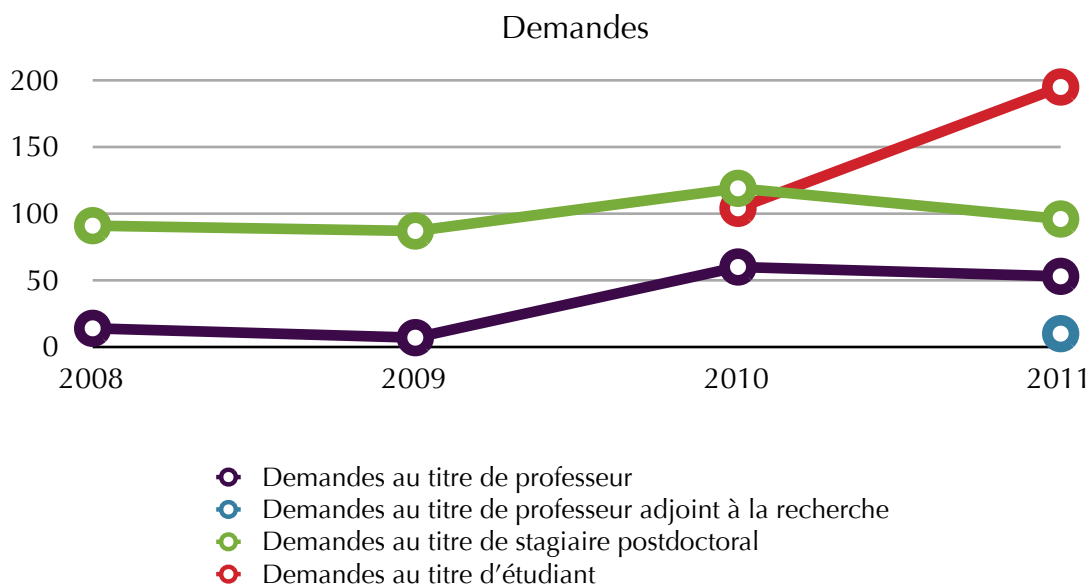
3.2.1.2 Demandes de professeurs, de stagiaires postdoctoraux et d'étudiants

L'IIQ a continué à recevoir des demandes de candidats de qualité provenant des établissements les mieux cotés au monde. Au cours de l'exercice financier 2011, l'Institut a reçu un total de 53 candidatures à des postes de professeur et de 10 candidatures à des postes de professeur adjoint à la recherche. Un total de 96 demandes au titre de stagiaire postdoctoral ont été déposées au cours du dernier exercice financier.

Nous avons reçu 117 demandes d'admission au programme coopératif d'études supérieures en information quantique, dont il s'agit de la deuxième année d'activité. Soixante-dix-huit autres étudiants ont fait mention sur leur demande d'admission à l'Université de Waterloo⁵ qu'ils étaient intéressés par l'informatique quantique ou l'information quantique.

Au total, cela représente 195 étudiants ayant fait une demande d'admission ou ayant manifesté un intérêt pour l'information quantique. L'IIQ a atteint son objectif, soit de hausser de 20 % le nombre de demandes (par rapport à 104 reçues l'an dernier).

⁵ ÉTUDIANTS AYANT FAIT DES DEMANDES DANS LES DÉPARTEMENTS SUIVANTS : MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES, COMBINATOIRE ET OPTIMISATION, GÉNIE ÉLECTRIQUE ET INFORMATIQUE, PHYSIQUE ET ASTRONOMIE, CHIMIE OU ÉCOLE DE SCIENCES INFORMATIQUES DAVID R. CHERITON, ET AYANT INDIQUÉ UN INTÉRÊT POUR L'INFORMATIQUE QUANTIQUE OU L'INFORMATION QUANTIQUE.



	2008	2009	2010	2011
PROFESSEURS	14	7	60	53
PROFESSEURS ADJOINTS À LA RECHERCHE				10
STAGIAIRES POSTDOCTORAUX	91	87	119	96
ÉTUDIANTS			104	195

3.2.1.3 Programme d'études supérieures en information quantique : Mise à jour

Le Conseil des études supérieures de l'Ontario a approuvé le programme coopératif d'études supérieures en information quantique en janvier 2010. L'Université de Waterloo et l'IIQ travaillent de concert afin de proposer aux étudiants une nouvelle approche interdisciplinaire des études supérieures en information quantique menant à des maîtrises en mathématiques, en sciences et en sciences appliquées, ou encore à des doctorats.

Le programme est offert en collaboration avec les facultés de mathématiques, de sciences et de génie, avec les départements de mathématiques appliquées, de combinatoire et optimisation, de chimie, de physique et d'astronomie, de génie électrique et informatique, ainsi qu'avec l'École de sciences informatiques David R. Cheriton.

Le programme coopératif en information quantique contribue à l'atteinte de l'objectif à long terme de la subvention d'Industrie Canada, c'est-à-dire de fournir aux étudiants des occasions d'acquérir et de mettre en application de nouvelles connaissances.

Le programme d'études supérieures expose les étudiants à un vaste éventail de cours et de projets de recherche de pointe portant sur les fondements, les applications et la mise en pratique du traitement de l'information quantique. Le nouveau programme d'études supérieures se distingue tout particulièrement par sa portée et son étendue, qui englobent les aspects à la fois expérimentaux et théoriques de l'information quantique. Les étudiants

seront tenus de prendre deux cours clés : Traitement de l'information quantique, et Applications pratiques du traitement de l'information quantique, et disposeront d'un vaste choix d'autres cours spécialisés en information quantique, par exemple sur la théorie de l'information quantique, les algorithmes quantiques, ou encore sur les applications nanoélectroniques du traitement de l'information quantique. Au cours de l'exercice financier 2011, 20 nouveaux étudiants se sont joints à l'IIQ pour les sessions de printemps, d'automne et d'hiver.

Cinq superviseurs ont été acceptés dans le cadre du programme coopératif : David Cory (IIQ), Christopher Fuchs (Institut Perimeter), Shohini Ghose (Université Wilfrid Laurier), Rob Spekkens (Institut Perimeter) et Bei Zeng (Université de Guelph).

Afin de promouvoir le programme coopératif d'études supérieures, l'IIQ a participé à sept salons des diplômés : Université de Waterloo, Université McGill, Université de l'Alberta, Université de Western Ontario, Université de la Colombie-Britannique, Conférence canadienne des étudiants en physique et Conférence des étudiants en physique et en astronomie de l'Atlantique. De plus, le bureau des études supérieures de l'Université de Waterloo fait la promotion du programme à l'occasion de salons des diplômés à l'étranger.

3.2.1.4 Nouveaux cours

Le programme d'études supérieures en information quantique offrira le cours suivant à compter du printemps 2011 :

QIC 891 Selected Advanced Topics in Quantum Information (Sélection de sujets avancés en information quantique)

Crédits : 0,25

Coordonnateur du cours : Michele Mosca

3.2.1.5 Cours du niveau supérieur

Les cours qui suivent ont été dispensés par l'IIQ au cours des sessions de printemps, d'automne et d'hiver en 2010 et 2011.

QIC 710 Quantum Information Processing (Traitement de l'information quantique)

Chargé de cours : Ben Reichardt

Sujets traités : information quantique, algorithmes quantiques, théorie de la complexité quantique, codage entropique et sans bruit, codes de correction d'erreurs et insensibilité aux défaillances, non-localité et cryptographie.

QIC 750 Implementations of Quantum Information Processing (Applications pratiques du traitement de l'information quantique)

Chargé de cours : Frank Wilhelm

Introduction à l'implantation physique d'ordinateurs quantiques, en mettant l'accent sur les thèmes communs et interreliés.

QIC 769 Sir Anthony Leggett Lecture Series (Cycle de conférences de Sir Anthony Leggett)

Chargé de cours : Sir Anthony Leggett

Sujets traités : systèmes quantiques ouverts, théorie du liquide de Fermi, théorie des bandes, isolants topologiques, effet Hall quantique entier, effet Hall quantique fractionnaire, fondements de la supraconductivité, etc.

CO 781 Theory of Quantum Communication (Théorie de la communication quantique)

Chargée de cours : Debbie Leung

Ce cours aborde les principaux résultats ainsi qu'un sous-ensemble choisi de sujets additionnels sur la théorie de la communication quantique.

QIC 823 Quantum Algorithms (Algorithmes quantiques)

Chargé de cours : Andrew Childs

Étude d'algorithmes permettant aux ordinateurs quantiques de résoudre les problèmes plus rapidement que les ordinateurs classiques.

QIC 845 Open Quantum Systems (Systèmes quantiques ouverts)

Chargé de cours : Joseph Emerson

Exploration de la théorie des systèmes quantiques ouverts, qui consiste en une série de techniques mathématiques et de modèles phénoménologiques décrivant de manière générale la dynamique et la mesure des quanta, ainsi que les méthodes de contrôle quantique.

QIC 885 Quantum Electronics and Photonics (Électronique et photonique quantiques)

Chargé de cours : Hamed Majedi

À l'intention des ingénieurs intéressés par l'apprentissage de la mécanique quantique appliquée en vue d'étudier les comportements quantiques des électrons et des photons, de même que leurs interactions.

QIC 890 Spin-based Implementations (Applications pratiques fondées sur le spin)

Chargé de cours : Jonathan Baugh

Présentation en profondeur de la mise en application du traitement de l'information quantique basé sur le spin nucléaire et électronique.

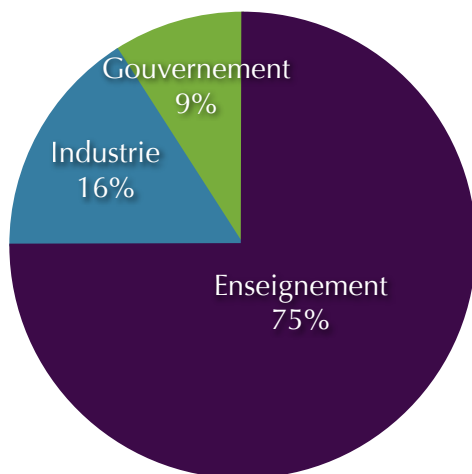
QIC 890 Applied Quantum Cryptography (Cartographie quantique appliquée)

Chargé de cours : Norbert Lütkenhaus

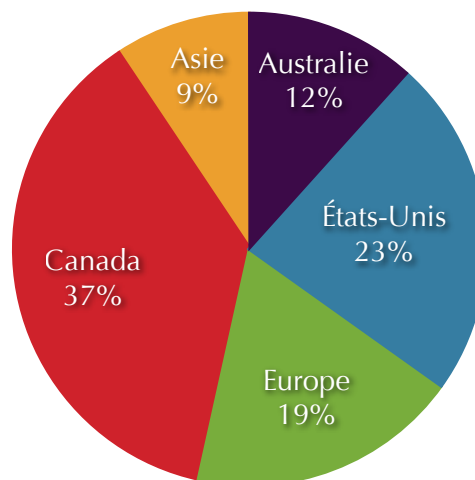
Ce cours a pour objectifs de faire comprendre le contexte de la distribution quantique de clés (QKD), les principes qui en permettent la réalisation, les principes des preuves de sécurité formelles et leurs composants, les applications de la QKD en optique quantique et les problèmes de recherche en QKD à traiter librement.

3.2.1.6 Anciens étudiants de l'IIQ

Anciens étudiants : Domaine d'emploi%



Anciens étudiants : Où sont-ils maintenant?%



3.2.1.7 Étudiants de l'IIQ issus des meilleures universités au monde

Le classement des meilleures universités au monde effectué par le Times note les établissements d'enseignement à partir d'évaluations par des pairs, de sondages, de ratios enseignants-élèves, du taux d'internationalisation et du nombre de fois où les études sont citées.

Cette année, 41 des 74 étudiants diplômés de l'IIQ avaient étudié dans un ou plusieurs de ces établissements universitaires ou postuniversitaires avant d'entrer à l'IIQ. L'an dernier, 40 des étudiants diplômés de l'IIQ avaient étudié dans un ou plusieurs de ces établissements de haut calibre.

Les étudiants avaient fréquenté un ou plusieurs des établissements qui suivent :

- Institut de technologie de la Californie
- Université McGill
- Université nationale de Singapour
- Université de Pékin
- Université Tsinghua
- Université d'Oxford
- Université du Queensland
- Université de Toronto
- Université de Waterloo

Pour en savoir plus sur le classement des meilleures universités au monde effectué par le Times et pour voir la liste complète, consultez l'annexe M.

« Avant ma visite, j'hésitais à choisir Waterloo pour aller faire des études supérieures, mais maintenant j'envisage sérieusement d'y aller. Merci. »

Éventuel étudiant de 2^e ou 3^e cycle

3.2.1.8 Étudiants possédant une moyenne cumulative élevée

Il y avait 74 étudiants inscrits à l'IIQ durant l'exercice financier 2011. Soixante-deux pour cent des étudiants diplômés ont une moyenne cumulative de 90 % ou plus.

Soixante-quinze pour cent des étudiants ont une moyenne cumulative de 85 % ou plus.

Ces résultats élevés sont le signe que l'IIQ attire certains des meilleurs étudiants au monde.

3.2.1.9 Partenariat d'échanges transatlantiques

Le projet collaboratif de stages en information quantique fait partie du programme de coopération Canada-Union européenne en matière d'éducation supérieure et de formation. Le projet vise à ouvrir les possibilités pour les étudiants diplômés du Canada et de l'Union européenne d'étudier en traitement de l'information quantique à l'étranger.

Chaque année, les 36 étudiants participant au programme effectuent un stage supervisé par un membre du corps professoral, impliquant des travaux de cours à l'établissement d'accueil sur des sujets pertinents. Les participants étudient le traitement de l'information quantique, ses sous-disciplines et les sujets connexes, incluant : algorithmes et complexité, correction des erreurs, cryptographie, communication, théorie de l'information, applications expérimentales de dispositifs de traitement de l'information quantique et cryptographie pratique.

Étudiants participant au programme d'échanges avec l'UE au cours de l'exercice financier 2011 :

- Agnes Ferenczi (IIQ)
- Sevag Gharibian (IIQ)
- Thomas Gunthner (Université d'Innsbruck)
- Bettina Heim (Université Friedrich-Alexander d'Erlangen-Nuremberg)
- Stacey Jeffery (IIQ)
- Nathan Killoran (IIQ)
- Christian Konrad (Université Paris-Sud)
- Ansis Rosmanis (IIQ)
- Jamie Sikora (IIQ)
- Sarvagya Upadhyay (IIQ)
- Ricardo Wickert (Université Friedrich-Alexander d'Erlangen-Nuremberg)

3.2.1.10 Bourses d'études et de recherche octroyées aux étudiants

À l'IIQ, 20 des 32 étudiants canadiens admissibles détiennent des bourses d'études du CRSNG.

De l'externe

Bourses d'études supérieures David R. Cheriton

Sevag Gharibian
Sarvagya Upadhyay
Abel Molina Prieto
Robin Kothari

Bourses d'études supérieures du Canada Alexander-Graham-Bell du CRSNG – Maîtrise

Daniel Criger
Pierre-Luc Dallaire-Demers
Robin Kothari
Evan Meyer-Scott
Stacey Jeffery
Kent Fisher
Luke Govia
Tomas Jochym-O'Connor
Nickolay Gigov

Bourses d'études supérieures du CRSNG Alexander-Graham-Bell du CRSNG – Doctorat

Easwar Magesan
Jonathan Lavoie
Sevag Gharibian
Farzad Qassemi

Bourses d'études supérieures du CRSNG (prolongation de la maîtrise)

Deny Hamel

Bourses d'études supérieures du CRSNG – Doctorat

Chris Erven
Chris Ferrie
Jamie Sikora
Jamie Smith
Felix Motzoi

Bourses d'études supérieures du Canada Vanier du CRSNG

Deny Hamel
Gina Passante

Bourses d'études supérieures de l'Ontario

Cozmin Ududec
Thomas McConkey
Hamid Mohebbi
Nathan Killoran
Evan Meyer-Scott
Fatin Haque

Bourses d'études supérieures de l'Ontario en science et technologie

Peter Groszkowski
Thomas McConkey
Chunqing Deng
David Pitkanen

Bourses d'études supérieures du Président

Cozmin Ududec
Deny Hamel
Daniel Criger
Pierre-Luc Dallaire-Demers
Robin Kothari
Thomas McConkey
Chris Erven
Hamid Mohebbi
Stacey Jeffery
Nathan Killoran
Jamie Sikora
Chris Ferrie
Easwar Magesan
Jamie Smith
Evan Meyer-Scott
Kent Fisher
Luke Govia
Fatin Haque
Tomas Jochym-O'Connor
Jonathan Lavoie
Sevag Gharibian
Felix Motzoi
Farzad Qassemi
Nickolay Gigov

Bourses à l'interne

Trois types de bourses sont offertes à l'interne aux étudiants de l'IIQ : la bourse de recherche Mike et Ophelia Lazaridis, le prix de distinction honorifique de l'IIQ de même que le prix David Johnston pour le rayonnement scientifique, également remis par l'IIQ.

Neuf lauréats ont reçu le prix de distinction honorifique (autrefois appelé prix du Fonds de recherche de la famille Bell) en 2011 : Felix Motzoi, Farzad Qassemi, Sarvagya Upadhyay, Evan Meyer-Scott, Kent Fisher, Luke Govia, Tomas Jochym-O'Connor, Nickolay Gigov et Christopher Wood.

Yingkai Ouyang, Iman Marvian, Amin Eftekharian, Sarvagya Upadhyay, Abel Molina Prieto et Ansis Rosmanis ont bénéficié de la bourse de recherche Mike et Ophelia Lazaridis.

C'est en 2011 que l'IIQ a décerné pour la première fois le prix David Johnston pour le rayonnement scientifique. Ce prix a été créé en hommage à la précieuse contribution de David Johnston à l'IIQ, son leadership et son désir d'apprendre, d'innover et d'accomplir sans relâche. David Johnston a été président de l'Université de Waterloo de 1999 à 2010. Les trois lauréats sont : Chris Erven, Gina Passante et Jean-Luc Orgiazzi.

La liste exhaustive des stagiaires est disponible à l'annexe N.

3.2.1.11 Récompenses aux membres du corps professoral

Richard Cleve

Membre de la Société royale du Canada (novembre 2010)

David Cory

Chaire d'excellence en recherche du Canada (mai 2010)

Joseph Emerson

Prix « 40 Under 40 » du Waterloo Region Record (février 2011)

Raymond Laflamme

Doctorat honoris causa de l'Université de Sherbrooke (septembre 2011)

Adrian Lupascu

Bourse de recherche Sloan de la Fondation Alfred P. Sloan (février 2011)

Hamed Majedi

Prix de distinction pour la performance de la Faculté de génie, Université de Waterloo (février 2011)

Michele Mosca

« Canada's Top 40 Under 40 », Globe and Mail (avril 2011)

Kevin Resch

Prix de performance remarquable, Université de Waterloo (janvier 2011)

John Watrous

Prix de performance remarquable, Université de Waterloo (janvier 2011)

Frank Wilhelm

Prix de performance remarquable, Université de Waterloo (janvier 2011)

3.2.1.12 Bourses postdoctorales

Anne Broadbent

Bourse postdoctorale du CRSNG (2008)

Prix de doctorat du CRSNG (janvier 2009)

Prix John Charles Polanyi (novembre 2010)

Boursière junior de l'ICRA (août 2011)

Brendon Higgins

Bourse postdoctorale Banting (avril 2011)

Robert Prevedel

Prix Major Research Instrumentation (MRI) (octobre 2009)

Bourse Erwin-Schrödinger (novembre 2009)

Aidan Roy

Bourse postdoctorale Fields de l'Université de Waterloo (août 2010)

Krister Shalm

Bourse de l'ACRA (octobre 2010)

3.3 ÉTABLIR L'IIQ EN TANT QUE SOURCE DE RENSEIGNEMENTS, D'ANALYSES ET DE COMMENTAIRES FAISANT AUTORITÉ EN MATIÈRE D'INFORMATION QUANTIQUE

Le troisième objectif stratégique de l'IIQ a'actualise de plusieurs manières. L'acquisition d'une réputation internationale comme source de renseignements et de commentaires faisant autorité relativement à la science des quanta se fait tout naturellement. La qualité des travaux scientifiques parle d'elle-même; elle est mise en valeur dans de nombreuses revues à travers le monde et est renforcée par la couverture médiatique, les publications de l'IIQ, entre autres. De plus, les chercheurs fournissent des analyses et des commentaires sur l'évolution de la science à l'extérieur de l'IIQ; leur diffusion par l'entremise du site Web de l'IIQ et d'autres sites positionne les chercheurs de l'IIQ comme des leaders éclairés en la matière. Au-delà de la communauté scientifique mondiale, il est également essentiel de « passer le mot » à d'autres, notamment les futurs étudiants et chercheurs, les partenaires de l'industrie et du gouvernement, ainsi que le public en général.

En faisant connaître la recherche quantique et son importance vitale au plus grand nombre, nous pourrions inspirer la prochaine génération de chercheurs dans le domaine quantique à poursuivre plus tard le travail fondamental qui est en cours aujourd'hui. Les premiers effectifs qui auront été informés du potentiel des quanta pourront ouvrir la voie à de fructueux partenariats avec les intervenants de l'industrie. Les efforts de sensibilisation au rôle que les quanta sont appelés à jouer pour notre avenir, le leadership du Canada ainsi que le rayonnement de l'IIQ à l'échelle internationale confirment l'importance de l'investissement majeur qui est fait dans la recherche quantique et la nécessité de préserver cet investissement.

Dans la section qui suit, vous trouverez une analyse des objectifs pertinents fixés par l'IIQ dans son rapport 2010 à Industrie Canada, ainsi que plusieurs mesures démontrant comment l'Institut est parvenu à les atteindre. Dans chaque secteur, des faits et des chiffres font état des activités de l'Institut liées au troisième objectif stratégique, soit d'établir l'IIQ en tant que source de renseignements, d'analyses et de commentaires faisant autorité en matière d'information quantique.

3.3.1 Diffusion des connaissances

Des réunions, ateliers, colloques et activités de diffusion sont organisés à longueur d'année en complément de la recherche effectuée à l'IIQ. Ces événements vont des conférences d'intérêt général aux colloques hyper-spécialisés. L'IIQ a inauguré un nouveau site Web qui participera dorénavant à son rayonnement et à la diffusion des connaissances.

Objectifs 2010

- Organiser cinq colloques à l'IIQ ciblant trois clientèles distinctes, soit les chercheurs, les étudiants de premier cycle et les élèves du secondaire
 - L'IIQ a accueilli six colloques. Pour en savoir plus sur ces colloques et ateliers, consultez la section 3.3.1.7
- Terminer le projet de refonte du site Web et procéder au lancement de la nouvelle présence Internet
 - Le nouveau site Web de l'Institut a été lancé en septembre 2010. Pour plus de détails sur le site Web de l'IIQ, voyez la section 3.3.2.3
- Constituer une base de données sur les documents publiés par les chercheurs de l'IIQ sur RefBase
 - « The Quantum Library » – la base de données sur les publications de l'IIQ – a été lancée en avril 2011. Pour de plus amples renseignements sur les publications et la base de données de l'IIQ, reportez-vous à la section 3.1.1.2
- Accroître la couverture médiatique externe
 - L'IIQ a été présenté 86 fois dans des médias locaux, nationaux et internationaux, y compris dans d'importants articles du Globe and Mail, du New York Times, du Telegraph (Inde) et du Scientific American. Pour plus d'information à propos de la couverture médiatique, consultez la section 3.3.2.5

Vous trouverez ci-dessous des renseignements sur l'objectif de l'IIQ relatif aux commentaires et analyses, aux événements de diffusion, aux activités de recrutement et aux événements internationaux, aux visites des diverses installations de l'Institut ainsi qu'aux présentations par des membres du corps professoral de l'IIQ.

3.3.1.1 Commentaires et analyses

Voici ci-dessous une liste d'articles, de présentations et de vidéos décrivant ou commentant l'état du traitement de l'information quantique.

Commentaires scientifiques généraux

Articles

1. « Harnessing the Quantum World » : Conférence Herzberg du congrès 2008 de l'ACP
 - Raymond Laflamme et Jeremy Chamilliard
 - La Physique au Canada, vol. 65, n° 1 (2009)

Vidéos

1. « Introduction to Quantum Technologies : Quantum Computers, Quantum Teleporters & Quantum Cryptography » : Conférence à l'Institut Perimeter
 - Michele Mosca

- Mai 2006
- 2. « Sparked by Curiosity » : Conférence publique à TEDxWaterloo
 - Raymond Laflamme
 - Février 2010
- 3. « Harnessing the Quantum World » : Conférence publique à l'Institut Perimeter
 - Raymond Laflamme
 - Juin 2008
- 4. « From Weird to Wired » : Conférence publique à l'Institut Perimeter
 - Joseph Emerson
 - Mars 2010
- 5. « What Great Philanthropy Can Do » : Entrevue
 - Entrevue avec Raymond Laflamme et David Johnston, ancien président de l'Université de Waterloo

Pour obtenir la vidéothèque complète de l'IQ, consultez la section 3.3.2.4.

Information et communication quantiques

Articles

1. « Introduction to Quantum Information Processing », par R. Laflamme et collaborateurs
2. « Introduction to Quantum Complexity Theory », par R. Cleve
3. « Non-locality and Communication Complexity », par R. Cleve et collaborateurs

Présentations

1. USEQIP 2010 : « Introduction to Quantum Information Processing », par M. Mosca

Algorithmes et complexité quantiques

Articles

1. « Quantum Algorithms », par J. Smith et M. Mosca
2. « Quantum Algorithms for Algebraic Problems », par A. M. Childs et W. van Dam
3. « Quantum Computational Complexity », par J. Watrous

Présentations

1. IOI 2010 : « Algorithms for Quantum Computers », par A. Childs
2. USEQIP 2010 : « Quantum Algorithms », par M. Laforest et M. Mosca

Cryptographie quantique

Articles

1. « The case for quantum key distribution », par D. Stebila, M. Mosca et N. Lütkenhaus
2. « Quantum cryptography », par N. Lütkenhaus et collaborateurs

Présentations

1. USEQIP 2010 : « Quantum key distribution: Linking theory and experiment », par N. Lütkenhaus
2. USEQIP 2010 : « Quantum communication with polarized entangled photons », par T. Jennewein

Vidéos

1. « Animation of IQC's quantum cryptography link »
2. « Chris Erven explains IQC's quantum cryptography link », par C. Erven
3. Troisième prix du concours de vidéos « Ontario Center of Excellence Discovery 2010 », par C. Erven et R. Horn

Correction des erreurs quantiques et insensibilité aux défaillances

Articles

1. « Introduction to Quantum Error Correction », par R. Laflamme et collaborateurs

Présentations

1. USEQIP 2010 : « Quantum Error Correction », par R. Laflamme

Vidéos

1. « Experimental Quantum Error Correction », par R. Laflamme

Traitement de l'information quantique basé sur le spin

Articles

1. « How to built a better iPod: Spintronics hold the key », par W. A. Coish
« Quantum physics and voltmeters », par F. K. Wilhelm
2. « 2-Qubit Quantum Information Processing by Zeeman-Perturbed Nuclear Quadrupole Resonance », par P. Xian et T. Borneman
« Introduction to NMR quantum information processing », par R. Laflamme, D. G. Cory, C. Negrevergne et collaborateurs
3. « Quantum information processing using nuclear and electron magnetic resonance: review and prospects », par J. Baugh, J. Chamilliard, C. M. Chandrashekar, D. G. Cory, M. Ditty, A. Hubbard, R. Laflamme, M. Laforest, D. Maslov, O. Moussa, C. Negrevergne, M. Silva, S. Simmons, C. A. Ryan et collaborateurs
4. « Nuclear spin in nanostructures », par W. A. Coish et J. Baugh
5. « Quantum computing with spins in solid », par W. A. Coish et D. Loss
6. « Spins interactions, relaxation and decoherence in quantum dots », par W. A. Coish et collaborateurs

Présentations

1. « Introduction to NMR and NMR QIP », par J. Baugh

Traitement de l'information quantique basé sur la nanoélectronique

Articles

1. « Quantum computing with superconductors I: Architectures », par F. K. Wilhelm et collaborateurs
2. « Superconducting qubits II: Decoherence », par F. K. Wilhelm et collaborateurs

Présentations

1. USEQIP 2010 : « Introduction to superconducting qubit », par A. Lupascu
2. USEQIP 2010 : « Infra red single photon detectors », par H. Majedi

Traitement optique de l'information quantique

Articles

1. « Linear optics quantum computation: an overview », par C. R. Myers et R. Laflamme

Présentations

1. USEQIP 2010 : « Bell's inequalities and quantum optics », par K. Resch
2. USEQIP 2010 : « Mach-Zehnder interferometer », par K. Resch
3. USEQIP 2010 : « State tomography of one and two-qubit systems », par K. Resch
4. USEQIP 2010 : « Optical implementations of quantum information », par K. Resch

« Les chercheurs qui viennent ici sont animés par le désir de concrétiser cette vision magnifique : amener la science quantique dans notre vie de tous les jours. »

Tommaso Calarco
Université de Ulm, Allemagne

3.3.1.2 Activités de diffusion

En plus d'organiser six colloques, l'IIQ a coordonné ou participé à neuf importantes activités de diffusion au cours de la dernière année. L'IIQ a pris part à sept salons des diplômés au Canada ainsi qu'à quatre événements internationaux de recrutement. L'IIQ a embauché un directeur de la diffusion scientifique en mai 2010.

« Innovation Insights »

- Raymond Laflamme, directeur général
- Présentation de l'IIQ et de l'information quantique à un auditoire intéressé par les affaires et la technologie
- Accelerator Centre, Waterloo, 150 participants
- 3 juin 2010

Conférence canadienne des étudiants en mathématiques

- Michele Mosca, directeur adjoint
- Conférencier d'honneur pour les étudiants de premier cycle
- Université de Waterloo, 245 participants
- 8 juillet 2010

Olympiades internationales d'informatique

- Andrew Childs, membre du corps professoral
- Présentateur – Algorithmes quantiques
- Université de Waterloo, environ 250 participants
- 15 août 2010

Visite libre de l'IIQ/Portes ouvertes Waterloo

- Visites guidées des laboratoires et des salles de cours de l'IIQ, zone de découvertes pour les enfants, conférence publique par le professeur David Cory, spectacle scientifique pour les jeunes, animation et présentations vidéo, visionnement de Quantum Tamers et plus
- RAC I et II, plus de 800 participants

- 18 septembre 2010

« Ladies Night Out »

- Anne Broadbent, boursière postdoctorale
- Causerie publique pour les Federated Women's Institutes of Ontario
- Listowell, Ontario, environ 120 participantes

Conférence publique du Royal Canadian Institute

- Joseph Emerson, membre du corps professoral
- Conférence publique intitulée « The Quantum World: Weird to Wired »
- Royal Canadian Institute, environ 200 participants
- 6 février 2011

TEDxWaterloo

- L'IIQ a commandité l'événement TEDxWaterloo 2011 et y a également présenté un stand où des centaines de participants ont pu assister à des expériences sur les quanta
- 3 mars 2011, environ 1000 participants

Programme des conférenciers éminents « Quantum Frontiers »

- Le discours inaugural a été prononcé par le Dr Don Eigler, un éminent physicien du Almaden Research Centre d'IBM, en Californie
- Environ 200 personnes présentes
- 1^{er} avril 2011

3.3.1.3 Salons des diplômés et séminaires spéciaux

Les recruteurs de l'IIQ ont assisté à un total de sept salons des diplômés. Dans certaines universités, ils ont offert un séminaire spécial à l'intention des étudiants intéressés à en apprendre davantage à propos de l'IIQ et de l'information quantique.

- Salon des diplômés de l'Université de Waterloo
 - 21 septembre 2010
- Salon des diplômés de l'Université de la Colombie-Britannique
 - 29 septembre 2010
 - Séminaire spécial, 30 septembre 2010, 45 participants
- Salon des diplômés de l'Université de l'Alberta
 - 20 octobre 2010
- Salon des diplômés de la Conférence canadienne des étudiants en physique
 - 25 octobre 2010, Université Dalhousie
- Salon des diplômés de l'Université de Western Ontario
 - 28 octobre 2010
 - Séminaire spécial, 11 novembre 2010, 50 participants
- Salon des diplômés de l'Université McGill
 - 3 novembre 2010
 - Séminaire spécial, Université McGill, 3 novembre 2010, 45 participants
 - Séminaire spécial, Université Laval, 4 novembre 2010, 60 participants

- Conférence des étudiants en physique et en astronomie de l'Atlantique
 - 5 février 2011

3.3.1.4 Événements internationaux

- Université normale de Beijing, Chine
 - Séminaire spécial sur l'Université de Waterloo, l'IIQ et le programme coopératif en information quantique
 - 24 novembre 2010, 60 participants
- Table ronde, ambassade canadienne, Chine
 - Participation avec l'Université de Waterloo, des représentants de 16 autres universités canadiennes et plus de 30 universités chinoises, et des représentants des ambassades canadiennes au Japon et en Corée
 - 25 novembre 2010, environ 100 participants
- Salon des diplômés, Beijing, Chine
 - 27 novembre 2010
 - Participation avec l'Université de Waterloo au grand salon international des diplômés
- Séminaire étudiant, Universités Tsinghua et de Pékin, Chine
 - Séminaire spécial sur l'Université de Waterloo, l'IIQ et le programme coopératif en information quantique
 - 29 novembre 2010, 15 participants
- Association américaine pour l'avancement des sciences : assemblée annuelle, Washington, É.-U.
 - Participation à l'événement afin d'établir des contacts avec les journalistes scientifiques et d'entendre des conférenciers de réputation internationale parler d'importants progrès dans des dossiers chauds sur les plans scientifique/technologique/politique et partager leurs points de vue quant aux orientations futures
 - 17-21 février 2011

3.3.1.5 Visites du Mike & Ophelia Lazaridis Quantum-Nano Centre

Le chantier du Mike & Ophelia Lazaridis Quantum-Nano Centre n'est pas encore ouvert au public.

Pour en savoir plus à propos de la progression des travaux et des futures installations, reportez-vous à la section 3.1.4.3.

3.3.1.6 Visites des centres d'avancement de la recherche I et II

L'IIQ propose des visites guidées du RAC I et du RAC II qui varient selon le degré de complexité technique. Les chercheurs de l'Institut donnent un coup de main pour les visites guidées à l'intention des élèves des écoles secondaires, des représentants du gouvernement, des gens de l'industrie ou du milieu des affaires ainsi que du grand public. On trouvera ci-dessous la répartition des participants à ces visites ainsi que les éléments à signaler dans chacune des catégories.

Pour plus d'information à propos des visiteurs académiques ou scientifiques, consultez la section 3.1.3.2.

« Votre organisation a contribué à positionner Waterloo comme un chef de file mondial de la révolution de l'information quantique; c'est vraiment incroyable d'avoir la plus importante institution du genre juste ici, à côté de chez soi. »

Laura A. Gainey
Présidente régionale, Sud-Ouest de l'Ontario, Banque Royale du Canada
Participante à une visite

Visites de représentants du gouvernement

L'IIQ a accueilli huit groupes de visiteurs du gouvernement au cours de l'exercice financier 2011.

À signaler : David C. Onley (lieutenant-gouverneur de l'Ontario), Glen Murray (ministre de la Recherche et de l'Innovation), Jim Flaherty (ministre des Finances), Peter Braid (député de Kitchener-Waterloo), Stephen Woodworth (député de Kitchener Centre), Masuo Aizawa (secrétariat du cabinet du Conseil des politiques en science et technologie, Japon).

Pour obtenir tous les détails sur les visites de représentants du gouvernement, voyez l'annexe P.

« Nous avons été très impressionnés et intéressés par les activités de l'IIQ... nous vous sommes reconnaissants d'avoir pris le temps de nous expliquer le travail en cours à votre institut... je suis certaine que nous entendrons beaucoup parler des percées canadiennes en physique quantique ainsi que du développement de Waterloo comme la nouvelle Quantum Valley! »

Sara Hradecky
Sous-ministre adjointe, Groupe de travail sur l'Afghanistan
Bureau du Conseil privé, Ottawa

Visites de représentants du milieu des affaires et de l'industrie

L'IIQ a accueilli neuf groupes de visiteurs du milieu des affaires et de l'industrie au cours de l'exercice financier 2011.

À signaler : Banque Royale du Canada (personnel-cadre de l'Ontario), Research in Motion, Moloney Electric Inc., Lockheed Martin Aeronautics Company, Michael Goodkin (Capital Investor).

Pour obtenir tous les détails sur les visites de représentants du milieu des affaires et de l'industrie, consultez l'annexe P.

Visites académiques

Les visites académiques sont probablement les plus populaires de l'IIQ. Ces visites, habituellement destinées aux classes de niveau secondaire ou aux étudiants du premier

cycle, peuvent réunir des groupes de 5 à 30 ou même 40 personnes à la fois. Cette année, l'IIQ a accueilli 27 visites académiques.

À signaler : Gerald Sussman et le club d'informatique de l'Université de Waterloo, les anciens étudiants en physique de l'Université de Waterloo, les étudiants de cycle supérieur de l'école secondaire Uxbridge, les étudiants du Perimeter Scholars International, ainsi que les étudiants en physique et en informatique de l'Université Wilfrid Laurier.

Pour obtenir tous les détails sur les visites académiques, reportez-vous à l'annexe P.

« Au nom des étudiants de première année en physique et photonique, je dois dire que nous avons été grandement impressionnés et avons énormément apprécié notre visite. Plusieurs des participants ont formulé d'excellents commentaires. Un merci tout spécial à Martin [Laforest] pour sa manière unique d'expliquer la beauté de l'IIQ et de ses impressionnants laboratoires équipés à la fine pointe, où se déroulent des projets de recherche d'avant-garde. »

Professeur Hasan Shodiev
Coordonnateur du laboratoire, Département de physique et d'informatique
Université Wilfrid Laurier

3.3.1.7 Ateliers, cours d'été et colloques

Au cours de la dernière année, l'IIQ a tenu six colloques. L'Institut organise de tels événements afin d'attirer la prochaine génération de scientifiques quantiques, de faire connaître la science quantique au plus grand nombre, de créer des occasions pour les chercheurs de partager le fruit de leurs travaux avec leurs pairs, et de permettre aux gens d'en apprendre davantage à propos de l'IIQ et de la recherche de pointe qui s'y fait.

1. Atelier transfrontalier sur la science du laser

3 mai – 5 mai 2010

78 participants

L'atelier a pour but de favoriser l'interaction entre les étudiants et des grands experts de la science du laser, dans un cadre informel. Les étudiants de premier, deuxième et troisième cycles sont invités à participer à l'atelier afin de s'exposer à des travaux de recherche liés au laser à l'extérieur de leurs champs d'intérêt habituels.

2. Traitement de l'information quantique par le spin et les supraconducteurs

17 mai – 19 mai 2010

62 participants

Les progrès réalisés récemment en traitement de l'information quantique à l'aide de systèmes à l'état solide ont fait la démonstration de la fidélité de reproduction des opérations, de la cohérence de longue durée, de la mesure de l'intrication de même que la première réalisation d'un algorithme quantique dans l'état solide. Pour continuer à progresser à cette cadence, il faudra intensifier les échanges entre les différents intervenants qui travaillent sur les systèmes supraconducteurs et les spins électroniques. Le but de cet atelier et de réunir les chefs de file de ces deux domaines pour qu'ils puissent

discuter des derniers progrès accomplis, des questions encore sans réponses et des orientations futures pour la création d'un processeur d'information quantique à semi-conducteurs.

« Ce fut un franc succès. Toutes les personnes qui ont pris la parole ont livré des propos de nature à alimenter la discussion. »

Jay Gambetta
Organisateur du colloque

3. École de premier cycle sur la science expérimentale de l'information quantique (USEQIP)

24 mai – 4 juin 2010

13 participants

Le programme vise à initier les étudiants au domaine du traitement de l'information quantique. Les étudiants sont invités à s'inscrire à un stage d'été à l'IIQ à la suite des cours d'été. USEQIP permet aux étudiants de voir de près ce que l'IIQ a à leur offrir, dans l'espoir de les recruter plus tard, lorsqu'ils entreprendront des études de deuxième ou troisième cycles.

« Voilà une occasion unique de toucher au calcul quantique... les procédures que nous avons expérimentées étaient très emballantes – il n'existe rien de tel ailleurs. »

Justin Dove, Université Adelphi
Participant

« J'ai pu avoir un aperçu des applications de la physique dans ce domaine et de la manière dont des chercheurs en chair et en os y travaillent. Les travaux pratiques nous aident vraiment à comprendre. »

Barbara Cervantes, Université de Victoria
Participante

4. Théorie et réalisation en pratique de la distribution quantique de clés

14 juin – 17 juin 2010

69 participants

Cet atelier est axé sur l'application la plus évoluée à ce jour de la science de l'information quantique, c'est-à-dire la distribution quantique de clés, déjà mise en œuvre commercialement dans le monde réel. L'atelier a réuni de grands experts de partout au monde qui explorent les moindres recoins de la distribution quantique de clés, de la théorie à l'expérimentation. Le colloque a été très fructueux car il a permis d'amorcer un dialogue entre théoriciens et expérimentalistes, suscitant ainsi de nouvelles idées à propos de la distribution quantique de clés. Un tel succès a incité les organisateurs à récidiver avec un nouveau colloque à l'été 2012.

5. École de cryptographie quantique pour les jeunes étudiants

26 juillet – 30 juillet 2010

38 participants

Les étudiants choisissent leur programme d'études universitaires en fonction des avenues qui leur ont été présentées à l'école secondaire. Le but de cette activité est de faire mieux connaître l'informatique et la cryptographie quantiques à des étudiants de talent qui s'apprêtent à entrer à l'université. En leur communiquant le dynamisme et les défis associés à ce domaine, nous espérons les amener à opter pour notre programme d'études supérieures.

« Les conférences portant sur les approches et les protocoles de distribution quantique de clés ont été des plus passionnantes; elles ont permis de faire le lien entre tous les sujets abordés précédemment, et ce, de manière agréable et intéressante. »

Christopher Nunn, Académie R. H. Kings, Scarborough
Participant

« J'ai vraiment aimé apprendre toutes ces nouvelles notions aux côtés de personnes à la fois brillantes et intéressantes. J'ai particulièrement apprécié les cours sur l'algèbre linéaire et la cryptographie classique. »

Fletcher Tomalty, École secondaire MIND, Montréal
Participant

6. Sources de photons nanostructurés et intriqués pour le traitement de l'information quantique

28 – 29 avril 2011

25 participants

Il s'agit de la troisième et dernière réunion annuelle pour la demande de subvention du CRSNG sur les sources de photons uniques et intriqués nanostructurés pour le traitement de l'information quantique. L'équipe de 10 professeurs et chercheurs canadiens du CNR ainsi que leurs stagiaires postdoctoraux et étudiants se sont réunis pour échanger leurs récentes réflexions et partager leurs réalisations de façon dynamique, au moyen de présentations sur affiches et de causeries.

3.3.1.8 Colloques et événements commandités

L'IQ a commandité les colloques et événements suivants cette année. En collaboration avec l'Université de Waterloo à titre de coparrain, l'Institut commandite des événements en vue d'atteindre ses objectifs de diffusion, de nouer des liens avec la communauté scientifique ainsi que les autres milieux et partenaires.

1. 14^e atelier sur le traitement de l'information quantique
2. Fondements conceptuels et artificiels dans le traitement de l'information quantique
3. QCRYPT 2011 : Premier colloque annuel sur la cryptographie quantique
4. Tournée de conférences sur la supraconductivité de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes
5. TEDxWaterloo 2011
6. Conférence sur le leadership technologique 2011 de Communtech

3.3.1.9 Présentations

Les professeurs et professeurs adjoints à la recherche de l'IIQ ont présenté leurs travaux à l'occasion de 80 événements au total durant l'exercice financier 2011. Trente de ces présentations se sont déroulées au Canada tandis que les 50 autres ont eu lieu dans divers instituts, événements et colloques internationaux.

Pour voir la liste complète des présentations, consultez l'annexe O.

3.3.2 Stratégie de communication et de diffusion

Les objectifs de communication et de diffusion de l'IIQ sont guidés par ses trois grands objectifs stratégiques, visant de manière plus directe à établir l'IIQ en tant que source de renseignements, d'analyses et de commentaires faisant autorité en matière d'information quantique. La stratégie de communication et de diffusion pour les 12 à 18 prochains mois englobe le développement et la mise en œuvre d'un plan de communication et de diffusion, d'événements et d'autres activités liés aux célébrations du 10^e anniversaire de l'IIQ, soulignant une décennie de réalisations et de progrès dans le domaine quantique; l'amorce d'un travail de recherche et de création qui permettra d'identifier les clientèles, intervenants et messages clés nécessaires pour mettre en valeur les activités scientifiques de calibre international menées par l'IIQ auprès du plus grand nombre; l'élaboration d'outils et de processus de communication ainsi que l'établissement de liens avec les principaux partenaires et donateurs.

Objectifs 2010

- Créer une équipe complète de cinq membres, chargée des communications et de la diffusion
- Jeter les bases de la stratégie de marque de l'IIQ, y compris les études de marché, les groupes de discussion et les entrevues/sondages auprès des intervenants
- Terminer la refonte du site Web afin d'accroître la présence, l'interactivité et la portée de l'IIQ sur Internet
- Développer des messages et des thèmes clés pour les communications de l'IIQ
- Assurer une diffusion ciblée afin de mettre en relief les atouts scientifiques de l'IIQ et d'attirer les chercheurs à l'Institut
- Organiser le 10^e anniversaire de l'IIQ ainsi que l'installation dans le nouveau Mike & Ophelia Lazaridis Quantum-Nano Centre

La section qui suit indique où en sont les messages clés de même que les projets de communication, d'image de marque et de site Web, fournit des statistiques sur les médias sociaux et présente un bref aperçu des plans pour le 10^e anniversaire de l'IIQ.

3.3.2.1 Messages clés

Le matériel de communication de l'IIQ se concentre sur quatre messages clés :

1. L'IIQ pose les jalons de la révolution quantique.
2. L'IIQ contribue au leadership technologique du Canada sur la scène internationale.
3. L'IIQ développe la main-d'œuvre de l'avenir dans le domaine quantique.

4. L'IIQ attire et alimente l'excellence scientifique par laquelle les découvertes apporteront des bénéfices concrets à la société.

3.3.2.2 Plans de communication et d'image de marque

La stratégie de communication et de diffusion de l'IIQ est guidée par ses trois grands objectifs stratégiques, plus particulièrement le troisième : « établir l'IIQ en tant que source de renseignements, d'analyses et de commentaires faisant autorité en matière d'information quantique ». L'équipe s'emploie à faire connaître l'IIQ à divers intervenants et clientèles. Les cinq membres de l'équipe de communication et de diffusion de l'IIQ sont en poste depuis juin 2010.

Cette année, l'IIQ mène trois initiatives stratégiques spécifiques : créer un plan solide et attrayant pour les célébrations du 10^e anniversaire, mettre en œuvre une stratégie de diffusion ciblée et poursuivre le travail de développement de l'image de marque entrepris en octobre 2010. L'IIQ s'occupe aussi du site Web, des publications, des projets vidéo, des relations avec les médias ainsi que des communications et du soutien à l'interne.

L'an dernier, l'IIQ a inauguré un nouveau site Web, publié son tout premier rapport annuel, revampé son bulletin semestriel, organisé des « portes ouvertes » très appréciées et accueilli plusieurs visiteurs de marque, notamment Stephen Hawking, le lieutenant-gouverneur de l'Ontario David C. Onley et le ministre canadien des Finances James M. Flaherty.

L'IIQ a inscrit son rapport annuel 2009-2010 au concours des prix Vision de la League of American Communications Professionals (LACP) – un concours international réunissant un vaste éventail d'industries et d'organisations de toutes tailles. Le concours a reçu plus de 4 400 candidatures provenant de 25 pays.

Les documents soumis ont été jugés par des pairs. L'IIQ a reçu la plus haute mention possible dans la catégorie Éducation, le prix Platine, et s'est classé au 28^e rang du concours général. Le rapport annuel de l'IIQ a également obtenu le plus haut pointage de tous les participants canadiens.

« Selon nous, dans l'ensemble il s'agit d'un travail remarquable, qui s'est valu dans le cadre de ce concours un pointage total de 96 sur un total possible de 100 points... Le degré de créativité démontré dans le rapport soumis par l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo est exceptionnel et les messages clés de cette année sont communiqués avec une grande clarté. Il est également à noter que l'information importante est parfaitement accessible pour les lecteurs. »

Christine Kennedy, directrice générale, LACP
Concours des prix Vision 2009-2010

« Nous pouvons affirmer que ce rapport est sans aucun doute l'un de ceux qui affichent la meilleure qualité de production cette année. Nous avons été impressionnés du début à la fin... et il nous en faut beaucoup! C'est un travail remarquable! »

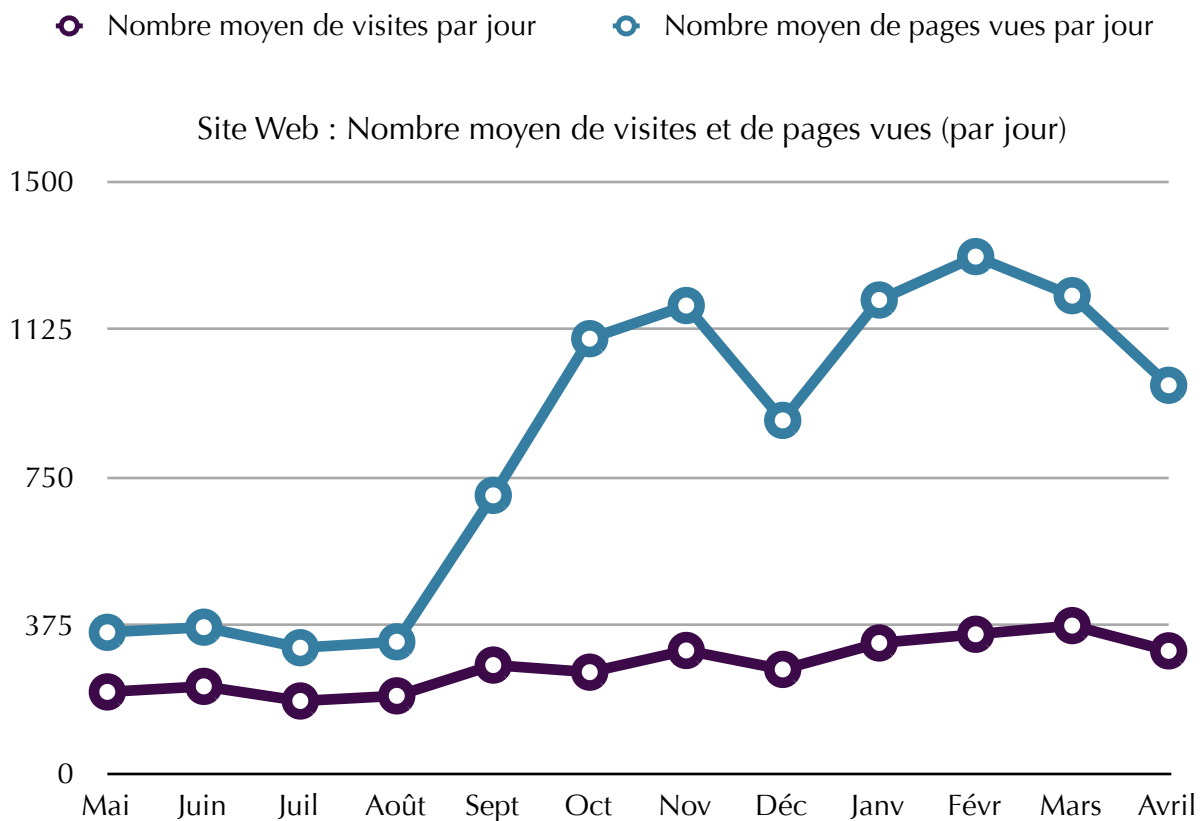
Commentaires des juges du concours des prix Vision, LACP

3.3.2.3 Site Web

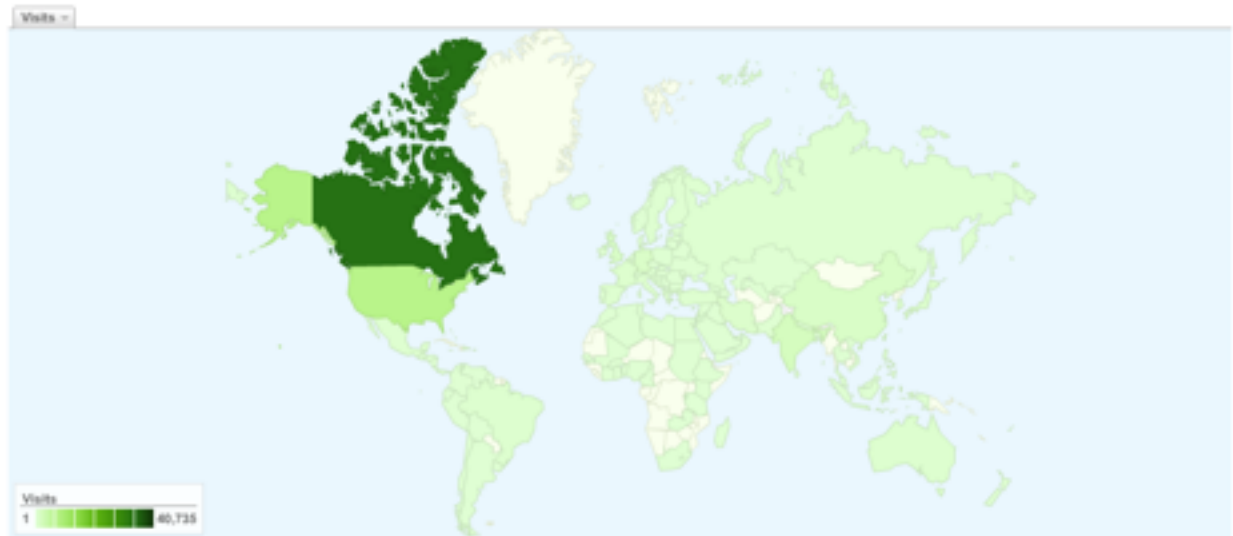
L'IIQ a lancé un nouveau site Web en septembre 2010, sur une nouvelle plate-forme et avec une allure et un contenu actualisés. Le site Web affiche une plus grande interactivité, des caractéristiques adaptées à chaque clientèle et plus d'information scientifique, tout en faisant davantage appel aux médias sociaux. Le site a été créé avec l'apport des membres du corps professoral, des stagiaires postdoctoraux, des étudiants et du personnel de l'IIQ ainsi que d'experts en conception de sites Web. Le site est à la fois une source de nouvelles, un outil de recrutement, une ressource d'apprentissage de même qu'une passerelle vers les médias sociaux de l'IIQ.

Au cours de la prochaine année et par la suite, l'équipe des communications et de la diffusion de l'IIQ continuera de renforcer la présence de l'IIQ sur le Web afin de faire connaître la science quantique le plus largement possible et d'attirer des chercheurs à l'IIQ.

Le graphique ci-dessous montre le nombre moyen de visites et de pages vues chaque jour sur le site iqc.uwaterloo.ca. On remarquera que l'augmentation des pages vues coïncide avec le lancement du nouveau site en septembre. On notera également la baisse dans le nombre de pages vues durant les vacances des fêtes.



La carte ci-dessous provient de Google Analytics et correspond aux données compilées à partir du lancement du nouveau site jusqu'à la fin d'avril 2011. La carte indique la provenance des visiteurs du site Web de l'IIQ. Dans soixante-dix pays/territoires, au moins un internaute a visité le site. Dans l'ordre, c'est au Canada, aux États-Unis, en Chine et en Inde que se trouvent le plus grand nombre de visiteurs.



67,858 visits came from 139 countries/territories

3.3.2.4 Médias sociaux

Un court sondage auprès des étudiants et des stagiaires postdoctoraux a permis de constater que les clientèles cibles de l'IIQ recherchent de l'information sur l'Institut à partir de nombreuses plates-formes. L'IIQ a recours aux médias sociaux afin de rejoindre ces utilisateurs.

Le blogue Quantum Factory

quantumfactory.wordpress.com

Inauguré en février 2011, Quantum Factory est un blogue dynamique et informatif animé par l'équipe des communications et de diffusion de l'IIQ. Le blogue réunit plusieurs publications, notamment des entrevues sur vidéo, des articles de presse, des récits de voyage ainsi qu'une galerie de photos du chantier du nouveau Mike & Ophelia Lazaridis Quantum-Nano Centre. Au 30 avril 2011, le blogue avait été consulté 2 601 fois, la journée la plus achalandée ayant reçu 172 visites.

Facebook

La page du groupe Facebook de l'IIQ se trouve à l'adresse [facebook.com/QuantumIIQC](https://www.facebook.com/QuantumIIQC). La page comptait 457 adeptes au 30 avril 2011, une augmentation notable par rapport au total de 197 enregistré pour l'exercice financier 2010.

Twitter

La page Twitter de l'IIQ se trouve à l'adresse @QuantumIIQC et comptait 649 abonnés en 2011, en hausse comparativement à 195 durant l'exercice financier 2010.

Galerie Flickr

On peut consulter la galerie Flickr de l'IIQ à flickr.com/quantumiqc. Au 30 avril 2011, on recensait 11 048 vues de photos et de vidéos sur le site.

Canal YouTube

Le canal YouTube de l'IIQ se trouve à youtube.com/QuantumIQC. En 2011, il y a eu au total 30 977 téléchargements, 2 999 visiteurs et 116 abonnés, alors qu'il n'y en avait que 6 en 2010.

L'IIQ a téléversé les 28 vidéos suivants sur le canal YouTube :

- 1 « The Music of Quantum Science » – Tommaso Calarco
2. Exposé « Quantum Frontiers » – Don Eigler, d'IBM
3. « The Benefits of Quantum Research » – Tommaso Calarco
4. « Understanding Quantum Computing » – Tommaso Calarco
5. « Quantum: Harnessing the Fundamental Forces of Nature »
6. « Quantum Gets Big: Andrew Cleland on the Breakthrough of the Year »
7. « Quantum Computing 101 »
8. « Teleportation: Fact v.s Fiction »
9. « Quantum Cryptography: The Future of Information Security »
10. « Quantum Cryptography Pioneer: Gilles Brassard »
11. « Quantum Computing Breakthrough: QIP=PSPACE »
12. « Casimir Effects » : Exposé de Peter Milonni à l'Institut d'informatique quantique
13. Stephen Hawking à l'Institut d'informatique quantique : « The Boomerang of Time »
14. « The USEQIP Experience »
15. « Harnessing Quantum Mechanics » – David Cory
16. « Speaking the Language of Quantum Mechanics » – David Cory
17. « Seth Lloyd on Canada's Quantum Leadership »
18. « The Quantum Mechanics of Time Travel »
19. « Seth Lloyd on the Universe as a Quantum Computer »
20. « Seth Lloyd on the Simple Beauty of Quantum Mechanics »
21. « Seth Lloyd on the Importance of Quantum Research »
22. « Seth Lloyd on Quantum Weirdness »
23. « Nuclear Magnetic Resonance @ IQC »
24. Visite virtuelle du Mike & Ophelia Lazaridis Quantum-Nano Centre
25. « Introduction to the Institute for Quantum Computing »
26. « Born to Rule » – La D^{re} Urbasi Sinha explique l'expérience des triples fentes
27. « Quantum Key Distribution » – Animation
28. « Quantum Key Distribution »

3.3.2.5 Nouvelles et couverture médiatique

Au cours de l'exercice financier 2011, 90 articles ont traité de l'IIQ dans des publications externes, entre autres plusieurs blogues scientifiques réputés. Cela représente une hausse par rapport aux 33 articles parus en 2010.

La couverture internationale inclut notamment The Telegraph (Inde), India Abroad, Scientific American et ComputerWorld. Pour obtenir la liste complète des publications externes, veuillez vous reporter à l'annexe R.

L'Université de Waterloo a publié 24 articles à propos de l'IIQ cette année, comparativement à 17 articles au cours de l'exercice financier 2010. Pour obtenir la liste complète des articles provenant de l'Université de Waterloo, veuillez consulter l'annexe R.

L'IIQ a publié 43 articles ou communiqués de presse au cours de l'exercice financier 2011, comparativement à 36 l'an dernier. La liste complète figure à l'annexe Q.

3.4 SOUTIEN ADMINISTRATIF

Cette activité couvre tous les objectifs mentionnés précédemment. Le rôle fondamental de l'équipe administrative de l'IIQ consiste à fournir aux chercheurs et aux étudiants le soutien administratif dont ils ont besoin pour poursuivre leurs travaux de recherche de pointe en information quantique. Les technologies de l'information, indispensables à la réussite de l'IIQ, sont utilisées à différentes fins, qu'il s'agisse d'exécuter des fonctions administratives, de soutenir la recherche scientifique ou de diffuser de l'information en ligne. La stratégie de l'IIQ au chapitre des technologies de l'information englobe l'infrastructure, la gestion de l'information et des transactions et le soutien des partenaires. Le soutien technique au laboratoire est également vital pour assurer la continuité du travail expérimental.

Le développement et le maintien de pratiques exemplaires revêtent un caractère essentiel si on veut que le personnel administratif puisse soutenir adéquatement les nombreuses activités académiques, scientifiques et communicationnelles de l'IIQ.

Objectifs et résultats 2010

- Documenter et standardiser les processus, les emplois et les outils de référence dans un institut en croissance rapide
 - Un cadre de référence a été défini pour chacun des comités de l'IIQ (recrutement de chercheurs, programme d'études supérieures, invitation de chercheurs, colloques) – ce cadre de référence énonce le mandat, les rôles et responsabilités, le fonctionnement et la position hiérarchique de chaque comité
 - Les pratiques et procédures liées aux mécanismes de contrôle interne des transactions financières ont été documentées
 - Les descriptions de tâches ont été reformulées, les procédures de travail ont été rédigées et on s'est assuré de la formation mutuelle des employés d'administration; l'Institut a préparé son premier budget, qui sert actuellement de référence pour la comptabilisation des données réelles
- Établir un processus correspondant au cycle de vie des subventions afin de standardiser les sources de financement et d'en effectuer le suivi
 - L'équipe administrative a été formée de manière à pouvoir épauler les chercheurs au chapitre des subventions, c'est-à-dire : identifier les possibilités de subvention, déposer la demande, comptabiliser et gérer le budget

- La documentation comprend une description claire du partage des rôles et responsabilités entre les membres du corps professoral et le personnel, de l'information de référence pour la préparation des subventions et des modèles pour la reddition de comptes
- Développer des techniques de même que des outils logiciels et matériels
 - L'Institut a transféré son service de courriel sur ordinateur et sur BlackBerry aux services centraux « Connect » du campus
 - Un protocole antivirus a été implanté pour l'installation de fabrication au RAC I
 - Une plate-forme bureautique commune a été créée afin d'améliorer l'efficacité du soutien technologique au sein de l'équipe des opérations
 - On a mis en application des fonctions de messagerie instantanée, de partage des fichiers et de sauvegarde centralisée
- Mettre au point des outils et des processus pour la création d'un nouveau site Web
 - Le soutien technologique pour le nouveau site Web de l'Institut comprend un nouveau logiciel développé à l'interne en vue de faciliter le recrutement de professeurs et de stagiaires postdoctoraux; un nouveau logiciel a également été créé pour enregistrer et communiquer les visites de chercheurs invités

« Je suis très emballé (de visiter l'IHQ) parce qu'il s'agit d'un des centres de technologies quantiques les plus fructueux à travers le monde. Je suis très curieux d'en apprendre davantage sur sa structure, son fonctionnement et les clés de sa réussite. »

Tommaso Calarco
Université de Ulm, Allemagne

4. OBJECTIFS 2012

4.1 RECHERCHE EN INFORMATION QUANTIQUE

Les travaux scientifiques menés à l'IIQ généreront les nouvelles connaissances qui seront publiées et présentées lors de colloques. Ces connaissances résideront notamment dans une meilleure compréhension des processeurs d'information quantique et la démonstration en laboratoire de leur maîtrise, et dans le développement de technologies faisant appel à ces processeurs. Éventuellement ce savoir donnera naissance à de nouvelles technologies et applications.

Objectifs

- Poursuivre l'étude approfondie des approches théoriques de traitement de l'information quantique afin de mieux comprendre l'impact de la mécanique des quanta pour le traitement de l'information et d'étudier de nouvelles applications potentielles
- Continuer d'élaborer des façons d'appréhender l'information quantique à l'aide de la photonique, des spins nucléaires et électroniques, des points quantiques et des technologies de supraconduction, et passer à l'étude des conditions requises pour la conception de systèmes de cryptographie quantique terre-satellite

4.2 RECRUTEMENT DE CHERCHEURS

L'atteinte d'une masse critique de chercheurs expérimentateurs et théoriciens, qui s'emploient à explorer un vaste éventail d'approches du traitement de l'informatique, propulsera l'IIQ à l'avant-garde de la discipline. Le recrutement continu de professeurs d'exception par l'IIQ permettra à l'Institut de se rapprocher davantage de son objectif de porter la recherche en information quantique au plus haut niveau à l'échelle internationale. Ceci alimentera en retour les ambitions de l'Institut, à savoir de devenir un pôle d'attraction pour les meilleurs étudiants et de constituer une source de renseignements et d'analyses faisant autorité en matière d'information quantique. La matérialisation de tous ces objectifs placera l'IIQ, et par le fait même le Canada, à l'avant-plan de l'évolution des technologies de l'information quantique.

Objectifs

- Recruter jusqu'à quatre nouveaux membres du corps professoral
- Recruter jusqu'à deux nouveaux professeurs adjoints à la recherche
- Recruter jusqu'à sept nouveaux stagiaires postdoctoraux
- Tirer profit des célébrations du 10^e anniversaire de l'IIQ, des colloques et des autres plates-formes de diffusion en tant qu'occasions de recrutement

4.3 COLLABORATION AVEC D'AUTRES CHERCHEURS

Des collaborations stratégiques avec des chercheurs clés de différentes disciplines contribueront à rehausser la réputation internationale de l'IIQ, à y attirer du personnel

hautement qualifié, et à accroître la probabilité de percées expérimentales et théoriques. En favorisant de telles collaborations, l'IIQ consolidera sa position de centre de calibre mondial pour la recherche et le développement de technologies en information quantique.

Objectifs

- Servir de catalyseur pour la concertation de chercheurs en information quantique dans le cadre de réseaux tels que le « Nano-Qubits Network » (NNQ) du CNRSG, le programme d'information quantique de l'Institut canadien de recherches avancées (ICRA) et les réseaux stratégiques du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG)
- Promouvoir les collaborations par la participation à des colloques nationaux et internationaux
- Produire des publications de haut calibre corédigées par les chercheurs de l'IIQ et reconnues internationalement
- Organiser au moins trois colloques réunissant des participants issus de différentes disciplines
- Poursuivre, améliorer et accroître les visites à l'IIQ par des chercheurs et des professeurs venus de tous les coins du monde

4.4 IMMEUBLE, INSTALLATIONS ET SOUTIEN DE LABORATOIRE

Cette activité mènera à l'achèvement des travaux au Mike & Ophelia Lazaridis Quantum-Nano Centre et à sa mise en service selon l'échéancier. Les laboratoires aux RAC I et II seront également opérationnels et pleinement fonctionnels.

Objectifs

- Assurer l'achèvement du Mike & Ophelia Lazaridis Quantum-Nano Centre selon les spécifications, dans le respect de l'échéancier et du budget
- Compléter la phase de mise en service et déménager au Mike & Ophelia Lazaridis Quantum-Nano Centre au début de 2012

4.5 ATTRACTION, PERFECTIONNEMENT ET FORMATION DE PERSONNEL HAUTEMENT QUALIFIÉ

Le rayonnement auprès d'étudiants ciblés suscitera une augmentation du nombre de demandes d'admission au programme d'études supérieures, ce qui fournira un plus vaste bassin de candidats parmi lesquels l'IIQ pourra recruter les meilleurs. Il est d'une importance vitale de former des étudiants à la recherche en information quantique, puisque ce seront eux les décideurs dans 10 à 15 ans, lorsque les dispositifs d'information quantique seront plus répandus. L'IIQ a à cœur d'assurer que les étudiants possèdent les connaissances nécessaires pour prendre des décisions judicieuses dans l'avenir.

Objectifs

- Participer à au moins quatre salons des diplômés pour prendre contact avec d'éventuels étudiants

- Recueillir au moins 240 demandes d'inscription au programme d'études supérieures de l'IIQ de l'Université de Waterloo
- Approfondir les liens créés avec les programmes de premier cycle des universités ontariennes et canadiennes
- Prendre part à au moins deux événements internationaux de diffusion ou de recrutement

4.6 DIFFUSION DES CONNAISSANCES

Un rayonnement élargi et une diffusion accrue des connaissances contribueront à l'atteinte de l'objectif stratégique d'établir l'IIQ en tant que source de renseignements, d'analyses et de commentaires faisant autorité en matière d'information quantique. Cela aidera également à promouvoir l'IIQ (et par le même le Canada) comme centre de recherche de calibre mondial sur les technologies quantiques et leurs applications.

Objectifs

- Élaborer et mettre en œuvre un plan de communication pour l'année, des activités de diffusion ainsi que d'autres événements liés aux célébrations du 10^e anniversaire de l'IIQ
- Stimuler l'intérêt à l'égard de camps, d'ateliers, de colloques et de programmes au moyen du marketing ciblé et accroître l'ampleur des événements grâce à la technologie
- Faire valoir les priorités et programmes de diffusion de l'IIQ sur le Web
- Organiser au moins cinq colloques visant trois clientèles cibles distinctes
- Intensifier la couverture médiatique externe, en particulier à l'étranger

4.7 STRATÉGIE DE COMMUNICATION ET DE RAYONNEMENT

Le plan d'événements et d'activités liés au 10^e anniversaire de l'Institut, élaboré pour une année, accroîtra la visibilité de l'IIQ et renforcera ses trois objectifs stratégiques. Le travail effectué sur l'image de marque devrait fournir une vitrine aussi large que possible aux recherches de pointe qui y ont cours. L'amélioration continue du site Web devrait permettre de présenter, à l'échelle internationale, des données scientifiques de premier ordre qui bâtiront et renforceront l'identité de l'IIQ en tant que source de renseignements, d'analyses et de commentaires faisant autorité en matière d'information quantique, et ce, dans le monde entier. Le projet d'image de marque s'appuiera sur les aspirations stratégiques de l'IIQ tout en reconnaissant que l'IIQ fait partie d'une communauté mondiale qui partage plusieurs de ses objectifs.

Objectifs

- Élaborer et mettre en œuvre un plan de communication pour l'année, des activités de diffusion ainsi que d'autres événements liés au 10^e anniversaire de l'IIQ
- Organiser des portes ouvertes à la mi-2012 en partenariat avec le campus principal de l'Université de Waterloo afin de souligner le déménagement de l'IIQ au Mike & Ophelia Lazaridis Quantum-Nano Centre

- Poursuivre et développer le travail de recherche et de création qui permettra de formuler des messages clés pour chaque groupe d'intérêts, qui seront cohérents et qui refléteront de manière convaincante l'image de marque de l'IIQ, de manière à faire valoir le plus largement possible le calibre international de la recherche
- Continuer à enrichir le site Web pour mettre en valeur les réalisations scientifiques de l'IIQ et intensifier ses activités de diffusion

4.8 SOUTIEN ADMINISTRATIF

Une transition sans heurts au QNC et la mise en service de l'équipement requis minimiseront les perturbations au niveau du travail de recherche. Un centre de gestion de l'information constituera une précieuse ressource pour consulter l'information scientifique et commerciale de l'Institut, notamment en ce qui a trait à la gouvernance, aux pratiques et aux procédures, et permettra d'accéder rapidement à l'information de gestion et aux mesures de la performance. Le soutien logiciel aux opérations des installations de fabrication simplifiera le déroulement du travail et facilitera une meilleure assurance qualité de l'équipement. Un plan de développement sera élaboré afin de tenir au courant les principaux partenaires de l'Institut de notre mission, de nos objectifs et de nos réalisations.

Objectifs

- Planifier le déménagement au Mike & Ophelia Lazaridis Quantum Nano Centre, incluant la mise en service des laboratoires (prévue au début 2012), des installations et de l'équipement
- Mettre en œuvre, durant le semestre d'automne, un centre de gestion de l'information qui permettra la récupération intuitive et l'administration des activités de l'Institut, y compris les pratiques et procédures, les rapports financiers, les mesures, le cadre de gouvernance (par exemple les mandats des comités), ainsi que d'autres renseignements pouvant faciliter l'exploitation de l'Institut
- Implanter un logiciel pour l'installation de fabrication (salle blanche) durant le semestre d'hiver afin de permettre l'attribution de l'équipement (avec la garantie que les utilisateurs sont adéquatement formés), la facturation aux utilisateurs finaux et la planification de l'entretien
- Établir un mécanisme de financement pour les coûts de fonctionnement permanents (services publics et entretien) pour le QNC avant le semestre d'hiver
- Mettre au point un plan de relations avec les partenaires

5. STRATÉGIES D'ÉVALUATION ET D'ATTÉNUATION DES RISQUES

		PROBABILITÉ		
		ÉLEVÉE	MOYENNE	FAIBLE
IMPACT	ÉLEVÉ	6	8	9
	MOYEN	3	5	7
	FAIBLE	1	2	4

FACTEUR DE RISQUE	IMPACT	PROBABILITÉ	COTE DE RISQUE	EXPLICATION DU POINTAGE	MESURES D'ATTÉNUATION
1) L'IIQ POURRAIT NE PAS ÊTRE EN MESURE D'ATTIRER DES CHERCHEURS DE HAUT CALIBRE	ÉLEVÉ	MOYENNE	8	LE MARCHÉ DES CHERCHEURS DE CALIBRE MONDIAL EST TRÈS CONCURRENTIEL, ET L'IIQ S'EMPLOIE ENCORE À BÂTIR SON IMAGE DE MARQUE. LES CHERCHEURS SONT TOUTEFOIS LA PIERRE D'ASSISE SUR LAQUELLE S'APPUIE LA RÉPUTATION DE L'INSTITUTION.	<ul style="list-style-type: none"> • CONTINUER LE RECRUTEMENT DANS PLUSIEURS DOMAINES DE RECHERCHE • OFFRIR DES CONDITIONS D'EMBAUCHE/ FORFAITS CONCURRENTIELS • PROMOUVOIR ADÉQUATEMENT L'ÉQUIPE DE SCIENTIFIQUES DE CALIBRE INTERNATIONAL ET LES INSTALLATIONS/ L'ÉQUIPEMENT DE POINTE DE L'IIQ
2) L'IIQ POURRAIT PERDRE DES EMPLOYÉS CLÉS	ÉLEVÉ	MOYENNE	8	LE TRAVAIL DE RECHERCHE ET DE RECRUTEMENT DE L'IIQ INCOMBE EN GRANDE PARTIE À QUELQUES PERSONNES CLÉS. CES DERNIÈRES SERAIENT DIFFICILES À REMPLACER.	<ul style="list-style-type: none"> • DIVERSIFIER LA NATURE DU TRAVAIL DES MEMBRES DU PERSONNEL • FOURNIR UN ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL INTÉRESSANT • FOURNIR UN SOUTIEN TECHNIQUE ET ADMINISTRATIF ADÉQUAT • FOURNIR DES INSTALLATIONS ET DE L'ÉQUIPEMENT DE CALIBRE MONDIAL • PROPOSER DES AVANTAGES SOCIAUX ATTRAYANTS POUR LES EMPLOYÉS/ CONJOINTS

5.0 STRATÉGIES D'ÉVALUATION ET D'ATTÉNUATION DES RISQUES

3) L'ÉVOLUTION DES TECHNOLOGIES POURRAIT FAIRE EN SORTE QUE LA RECHERCHE EN COURS SOIT MOINS PERTINENTE	ÉLEVÉ	FAIBLE	6	SI LA RECHERCHE DE L'IIQ DEVIENT MOINS PERTINENTE, LES GENS À LA RECHERCHE DE PERSONNEL HAUTEMENT QUALIFIÉ ET DE DONNÉES IRONT AILLEURS.	<ul style="list-style-type: none"> • ASSURER UNE VASTE ÉTENDUE DE LA RECHERCHE (POUR DÉMARQUER L'IIQ DE SES CONCURRENTS) • POURSUIVRE LES DEMANDES DE FONDS DE RECHERCHE POUR LE MAINTIEN D'ÉQUIPEMENT À LA FINE POINTE
4) LE PROGRAMME D'ÉTUDES SUPÉRIEURES POURRAIT NE PAS ÊTRE APPROUVÉ OU ÊTRE RETARDÉ	MOYEN	FAIBLE	3	LES DÉLAIS POURRAIENT NUIRE AUX EFFORTS DE RECRUTEMENT DE L'IIQ.	<ul style="list-style-type: none"> • ASSURER LE NIVEAU ÉLEVÉ DE QUALITÉ DU PROGRAMME D'ÉTUDES SUPÉRIEURES
5) L'IIQ POURRAIT NE PAS ÊTRE EN MESURE DE RECRUTER SUFFISAMMENT DE PERSONNEL HAUTEMENT QUALIFIÉ	ÉLEVÉ	FAIBLE	6	PLUSIEURS CHERCHEURS HAUTEMENT QUALIFIÉS PROVIENNENT DE PAYS À RISQUE D'INSTABILITÉ POLITIQUE (LES TROIS PRINCIPAUX ÉTANT L'IRAN, LA CHINE ET L'INDE).	<ul style="list-style-type: none"> • PROMOUVOIR SUFFISAMMENT L'IIQ • ASSURER L'EXCELLENCE DE LA RECHERCHE • DIVERSIFIER LES MARCHÉS/PAYS OÙ LES ÉTUDIANTS SONT RECRUTÉS
6) LE MANQUE DE DONNÉES FINANCIÈRES (CONCERNANT LA DOTATION EN BOURSES) EMPÊCHE LA PLANIFICATION À LONG TERME	ÉLEVÉ	FAIBLE	6	LA DURABILITÉ/ SOURCE DES FONDS (AUTRES QUE IC) EST LARGEMENT INCONNUE.	<ul style="list-style-type: none"> • PRÉPARER UN PLAN FINANCIER SUR 10 ANS POUR LES ACTIVITÉS COURANTES
7) LES CONTRAINTES OPÉRATIONNELLES LIMITENT LES EFFORTS DE L'IIQ POUR BÂTIR LUI-MÊME SON IMAGE DE MARQUE	ÉLEVÉ	FAIBLE	6	LES CONTRAINTES OPÉRATIONNELLES INCLUENT LES RESSOURCES LIMITÉES (Y COMPRIS EN PERSONNEL) ET LE DEGRÉ DE FLEXIBILITÉ.	<ul style="list-style-type: none"> • RECRUTER LES BONS EMPLOYÉS/ TALENTS/ COMPÉTENCES • ÉLABORER ET DÉPLOYER UN PLAN POUR UN PROJET D'IMAGE DE MARQUE • FAVORISER LES RELATIONS DE TRAVAIL ÉTROITES AVEC LES UNITÉS APPROPRIÉES AU SEIN DE L'UNIVERSITÉ

5.0 STRATÉGIES D'ÉVALUATION ET D'ATTÉNUATION DES RISQUES

8) LES COÛTS DE CONSTRUCTION POURRAIENT DÉPASSER LES PRÉVISIONS BUDGÉTAIRES	FAIBLE	MOYENNE	2	LA SUBVENTION D'IC EST UNE SOMME FIXE. L'UNIVERSITÉ S'EST ENGAGÉE À VERSER LA DIFFÉRENCE EN CAS DE MANQUE À GAGNER.	S/O
9) LE CALENDRIER DE CONSTRUCTION POURRAIT ÊTRE RETARDÉ	MOYEN	FAIBLE	3	LES RÉSULTATS SERAIENT REPORTÉS SANS ÊTRE MODIFIÉS.	S/O